



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DISEÑO 1,300 M DE PAVIMENTO SEMI – RÍGIDO DEL TRAMO EMPALME
SAN FRANCISCO - PUENTE LA QUEBRADA, MUNICIPIO DE LA TRINIDAD,
DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, 2019”.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Fredman Harry Quintanilla Tórrez

Br. Jerohan Eliasib Aguirre Laguna

Tutor

PhD. Sergio Junior Navarro Hudiel

Asesor

Ing. Juan Leonardo Chow

Managua, Febrero 2020

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a **Dios** nuestro señor Jesucristo por haberme permitido llegar hasta este momento, por darme la fortaleza necesaria para sobrellevar los problemas y no dejarme vencer, por la sabiduría que me regaló para hacer siempre lo correcto, por la salud que siempre me ha dado y su protección.*

*A mi padre Ing. **Harry Quintanilla Lanuza** y a mi madre **Reyna Tórrez Santander**, por todo el amor, la entrega, sacrificio y apoyo incondicional en todas las áreas de la vida que me han brindado todos estos años.*

*A mis tías **Urania Osorio** e **Ivania Osorio** por la ayuda incondicional en todo momento y por estar siempre apoyándome y dándome ánimo y palabras de aliento.*

*Al Msc. **José Rubén Sanabria** por ser un pilar muy importante en mi vida por ser un ejemplo a seguir y haberme apoyado siempre*

Y a todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron o ayudaron para poder llegar donde hemos llegado.

BR, Fredman Harry Quintanilla Tórrez

AGRADECIMIENTOS

*Primero y, antes que nada, dar gracias a **Dios**, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente; y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

El agradecimiento más profundo y sentido es para mi familia, sin su apoyo e inspiración habría sido imposible recorrer y culminar este duro trayecto. A mis padres, por ser modelo de lucha y honestidad

*Un eterno agradecimiento a mi compañero de tesina **Jerohan Elías Aguirre Laguna** por su comprensión y apoyo brindado en los últimos meses; más que un compañero de clases un buen amigo.*

*A nuestro tutor **PhD. Sergio Junior Navarro** y asesor el Ingeniero **Juan Leonardo Chow**, por su apoyo en nuestro trabajo y su capacidad para guiar nuestras ideas nos permitieron alcanzar los objetivos de esta tesina.*

*A el laboratorio de suelo de Estelí **ASYC** por habernos facilitado su laboratorio para poder hacer todas las pruebas del estudio de suelo.*

A todos mis maestros que aportaron a mi formación académica y profesional, asimismo a todas las personas que me enseñaron a compartir el conocimiento con los demás y a ser lo que no se aprende en un salón de clases.

BR, Fredman Harry Quintanilla Tórrez

DEDICATORIA

*Dedico mi monográfica para optar al título de ingeniero civil, al ser más supremo **Dios**, por ser el quien nos brinde la oportunidad de vivir, la salud, inteligencia para poder ejercer nuestros conocimientos, las fuerzas físicas y espirituales, para seguir luchando día a día venciendo todos los obstáculos que se me han presentado durante este proceso.*

*A mi padre **Rigoberto Aguirre Laguna** y mi madre **María Lourdes Laguna**, que durante todo el proceso siempre existió de parte de ellos, sus consejos, los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan como valor mostrado para salir adelante siendo una persona de bien, preparado.*

*Con mucho amor y cariño a mi amada esposa **Maryuri de los Ángeles Guido** por su apoyo constante hacia mí, su grande amor me ayudó a superar los momentos más difíciles presentes en el camino, cuando creía que no había solución a las dificultades, su asistencia especial en la realización de la misma.*

A mi familia muy querida y las personas que directa e indirectamente me apoyaron para poder concluir con éxito este trabajo.

Br. Jerohan Elíasib Aguirre Laguna.

AGRADECIMIENTO

*Doy infinitamente gracias **Dios** por su amor, su bondad, por darnos tanta fuerza, salud y coraje para poder llevar acabo nuestra monografía final para poder ser futuros ingenieros.*

A nuestros padres por enseñarnos todo el valor de la educación, que dentro de sus preocupaciones nos dieron la posibilidad de brillar.

A mi amada esposa, por su apoyo incondicional brindado hacía mí, por el tiempo sacrificado durante este proceso. Mis suegros que me ayudaron grandemente con sus consejos y económicamente.

*Un eterno agradecimiento a mi compañero de tesina **Fredman Harry Quintanilla Tórrez** por su comprensión y apoyo brindado en los últimos meses; más que un compañero de clases un buen amigo.*

A todos mis familiares que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindando su apoyo incondicional.

*A nuestro tutor, Ph.D. **Sergio Navarro Hudiel** y asesor el Ingeniero **Juan Leonardo Chow**, por habernos capacitado al desarrollo de este trabajo, brindándonos sus conocimiento e ideas que han sido un aporte invaluable a nuestro trabajo, no solamente en el desarrollo de este trabajo monográfico, sino también en nuestra formación como Ingenieros Civiles.*

Br. Jerohan Elíasib Aguirre Laguna.

RESUMEN GENERAL

El presente estudio tuvo como objetivo realizar el diseño vial de 1,120 m de pavimento semi – rígido empalme San Francisco – puente La Quebrada del municipio de La Trinidad, departamento de Estelí, cumpliendo con todo los criterios y especificaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO 93.

El documento fue desarrollado con la estructura descrita a continuación:

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES En este capítulo, se describen aspectos básicos del tramo en estudio tales como: introducción, ubicación y localización, antecedentes, justificación, objetivos generales y específicos del documento monográfico.

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO Se realizó el levantamiento de 1,120 m de camino en la comunidad San Francisco del municipio La Trinidad, realizando poligonales abiertas a lo largo del eje central de la carreta, levantando secciones a cada 20 m, ejecutándose con la ayuda de una Estación Total modelo “LEICA Flex Line”, prisma, bastón, cintas de 50 m, chapas y pinturas en aerosol. Se realizaron un conjunto de operaciones de campo con objeto conocer la posición relativa de los puntos sobre la tierra en base a su longitud, latitud y elevación (x, y, z), obteniendo información de **684** puntos topográficos.

CAPÍTULO III: DISEÑO GEOMÉTRICO En este capítulo comprende el diseño óptimo de la línea definitiva, el cual estará sujeta a las clasificaciones de la vía a diseñar, su velocidad de diseño, alineaciones horizontal y vertical, su sección típica, el derecho de vía y sus diferentes criterios de diseño, cumpliendo con las especificaciones establecidas en las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA - 2004). Se diseñaron doce curvas horizontales y doce verticales con una velocidad de diseño de 30 km/h considerando un terreno ondulado para una colectora rural.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE SUELO En el tramo carretero se realizaron 13 sondeos para conocer las características físico - mecánicas de la sub-rasante, mediante 34 muestras de suelos representativas de las condiciones el tramo. El CBR de diseño de la subrasante fue de **20.50%**. De igual manera se caracterizó granulometría, índice de plasticidad, límite líquido, pesos unitarios, ensayo proctor estándar y CBR tanto para el corredor vial y banco de préstamo.

CAPÍTULO V: ESTUDIO DE TRÁNSITO Se realizó un conteo vehicular manual durante una semana completa usando el formato y clasificación sugerida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito obteniendo un TPDA **474 Veh/día**. Se establecieron correlaciones simples y transformaciones con base logarítmica entre TPDA histórico, PIB, Población para evaluar la tasa de crecimiento general la cual fue de **4.51%**. El total de Ejes equivalentes de carga (ESAL) fue de **259,873** para un periodo de diseño de **15 años**.

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE PAVIMENTO Consistió en el diseño de los espesores de cada capa que conforman el pavimento mediante el método AASHTO 93, teniendo en cuenta los resultados del estudio de suelo, el banco de préstamo y el aforo vehicular. Los parámetros de diseño fueron: **ESAL**, confiabilidad (**R**), Serviciabilidad (**Po, Pt**), desviación estándar (**So**), y el CBR de diseño, el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliencia (**M_R**), el valor de los coeficientes estructurales (**a₁, a₂**), y el valor de los números estructurales (**SN₁, SN₂**).

CAPÍTULO VII: COSTO Y PRESUPUESTO En este último capítulo se calcularon los costos para cada una de las etapas que contempla el estudio vial de 1,120 m, tanto los costos antes de impuestos, los costos indirectos como son el 1% de impuesto municipal, el 15% de IVA, el 10% de utilidades, y el 2% de IR, lo que al final permitió conocer el costo total de proyecto en córdobas y el equivalente en dólares, para ello se utilizó una tasa de cambio de **C\$ 33.60** que equivale a \$1 (un dólar americano). El costo total del tramo carretero es de C\$ **6,776,215.69** (seis millones setecientos setenta y seis mil dosiento quince con 69/100).

Contenido

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	2
1.2.1. Macro localización	2
1.2.2. Micro localización	3
1.3 ANTECEDENTES	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	5
1.5 OBJETIVOS	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos	6

CAPÍTULO II ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 GENERALIDADES	7
2.2.1 Levantamientos topográficos	7
2.2.2 Tipos de levantamientos	7
2.3 METODOLOGÍA	7
2.4 RESULTADO DEL ESTUDIO TOPOGRÁFICO	9

CAPÍTULO III DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1 INTRODUCCIÓN	10
3.2 METODOLOGÍA	10
3.3 RESULTADO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	11
3.3.1 Caracterización de la vía	11
3.3.2 Velocidad de diseño y vehículo de diseño	11
3.3.3 Establecimiento de las normas generales de diseño	11
3.3.4 Alineamiento horizontal	14
3.3.5 Desarrollo del peralte	19
3.3.6 Diseño del sobre-ancho	20
3.3.7 Alineamiento vertical	22
3.3.8 Sección típica y derecho de la vía	28

3.3.9 Elaboración de los planos-----	29
--------------------------------------	----

CAPÍTULO IV ESTUDIO DE SUELO

4.1 INTRODUCCIÓN-----	30
4.2 GENERALIDADES-----	30
4.3 METODOLOGÍA -----	31
4.4 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE SUELOS EN LÍNEA -----	32
4.4.1 Determinación del CBR de diseño -----	33
4.4.3 Resultado de ensayos de las fuentes de banco de préstamo -----	37

CAPÍTULO V ESTUDIO DE TRÁNSITO

5.1 INTRODUCCIÓN-----	42
5.2 GENERALIDADES-----	42
5.3 METODOLOGÍA -----	44
5.4 RESULTADO DEL AFORO VEHICULAR Y LA DETERMINACIÓN DEL TPDA-----	45
5.4.1 Aforo vehicular-----	45
5.4.2 Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)-----	48
5.4.3 Composición vehicular-----	51
5.4.4 Determinación de tasas de crecimiento estación 108 del anuario del MTI año 2017. -----	51
5.4.5 Período de diseño (N)-----	58
5.4.6 Factor de crecimiento (Fc) -----	59
5.4.7 Tránsito de diseño -----	60
5.4.8 Factor distribución por dirección (F _d) -----	61
5.4.9 Factor de distribución por carril (FD _c) -----	61
5.4.10 Factor de equivalencia de carga por ejes (FESAL)-----	61
5.5 EJES EQUIVALENTES (ESAL O W18) -----	63

CAPÍTULO VI DISEÑO DE PAVIMENTO

6.1 INTRODUCCIÓN-----	65
6.2 GENERALIDADES-----	65
6.3 METODOLOGÍA -----	66
6.4 RESULTADO DEL DISEÑO DE PAVIMENTO -----	67

6.4.1 Consideraciones del diseño AASHTO 93 -----	67
6.4.2 Variables para el diseño de pavimento-----	67
6.4.3 Criterios de comportamiento-----	69
6.4.4 Módulo de resiliente de la sub-rasante (M_R) -----	70
6.4.5 Número estructural (SN)-----	71
6.4.6 Coeficientes estructurales-----	78
6.4.7 Drenaje (m_i)-----	80
6.4.8 Diseño de espesores -----	81

CAPÍTULO VII COSTO Y PRESUPUESTO

7.1 INTRODUCCIÓN-----	86
7.2 GENERALIDADES -----	86
7.3 METODOLOGÍA -----	88
7.4 RESULTADO DEL COSTO Y PRESUPUESTO -----	88
7.4.1 Descripción general del tramo en estudio -----	88
7.4.2 Presupuesto del tramo en estudio-----	90
7.4.3 Determinación de los costos directos por etapa -----	91
7.5 PRESUPUESTO GENERAL DE COSTO DIRECTO E INDIRECTO POR ETAPAS DE LA OBRA -----	99
CONCLUSIONES -----	102
RECOMENDACIONES -----	104
BIBLIOGRAFÍA-----	105
ANEXOS -----	

Índice de tabla

Tabla N° 1 Parámetros horizontales y verticales utilizados en el diseño geométrico	12
Tabla N° 2 Coeficientes de fricción lateral.....	16
Tabla N° 3 Radios mínimo y grado de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.....	17
Tabla N° 4 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales	22
Tabla N° 5 Relación de curvatura vertical en cresta con la distancia de visibilidad de parada	24
Tabla N° 6 Relación de curvatura vertical en columpio con la distancia de visibilidad de parada	27
Tabla N° 7 Resumen de planos topográfico y diseños geométricos.....	29
Tabla N° 8 Estudios de suelo en el laboratorio ASYC	32
Tabla N° 9 Clasificación de suelo de la sub-rasante	33
Tabla N° 10 Relación de la clasificación de suelo de la sub-rasante y CBR	34
Tabla N° 11 Límites para la selección de resistencia CBR.....	35
Tabla N° 12 Valores y porcentajes de CBR de la sub-rasante	35
Tabla N° 13 Clasificación del CBR de diseño.....	36
Tabla N° 14 Resultado del análisis de suelo del banco de préstamo	38
Tabla N° 15 Requerimientos mínimos para la capa base.....	39
Tabla N° 16 Márgenes de valores de graduación aceptable para base según la NIC – 2000	40
Tabla N° 17 Resumen semanal y Tránsito Promedio Diurno TP(D).....	47
Tabla N° 18 Vectores de correspondencia geográfica	49
Tabla N° 19 Dependencia de estaciones (estación 200 entrada al INCAE – El crucero)	49

Tabla N° 20 Factores del segundo cuatrimestre del mes de Mayo – Agosto, estación 200 de mayor cobertura entrada al INCAE – El Crucero.	49
Tabla N° 21 Tráfico Promedio Diario Anual, aplicando los factores de ajuste del MTI para el año 2017	50
Tabla N° 22 Registro de la estación 108 Empalme San Isidro - La Trinidad publicado en el Anuario de aforo vehicular 2017	52
Tabla N° 23 Crecimiento poblacional de Nicaragua del año 2008 al 2017	54
Tabla N° 24 Producto Interno Bruto Anual de Nicaragua (PIB)	56
Tabla N° 25 Período de diseño (N)	59
Tabla N° 26 Transito de diseño para los diferentes tipos de vehículos	60
Tabla N° 27 Factores de distribución por dirección	61
Tabla N° 28 Factores de distribución por carriles	61
Tabla N° 29 Factores de ejes Kips a Interpolar	62
Tabla N° 30 Interpolación Lineal (2.2 Kips, 4.4 Kips, 8.8 Kips y 11Kips).....	62
Tabla N° 31 Cálculo de ejes equivalente de 18 Kips en carga de ejes simples ..	64
Tabla N° 32 Niveles de confiabilidad (R) en función del tipo de carreteras	68
Tabla N° 33 Valores de Zr en función de la confiabilidad R	68
Tabla N° 34 Valores de estimación de desviación estándar (So).....	69
Tabla N° 35 Serviciabilidad inicial, final	69
Tabla N° 36 Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para sub-rasante	70
Tabla N° 37 Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad.	80
Tabla N° 38 Coeficientes de drenaje para pavimento flexible	81
Tabla N° 39 Espesores mínimos sugeridos.....	82
Tabla N° 40 Resumen de datos calculados para el diseño de pavimento.....	84
Tabla N° 41 información del tramo en estudio.....	89

Tabla N° 42 Descripción general del tramo en estudio.....	89
Tabla N° 43 Costos indirectos	90
Tabla N° 44 Cantidad de mano de obra	91
Tabla N° 45 Take off de los materiales considerados para el tramo en estudio..	92
Tabla N° 46 Maquinaria y equipo para la ejecución de la obra	93
Tabla N° 47 Limpieza inicial	93
Tabla N° 48 Costo unitario del rótulo.....	94
Tabla N° 49 Trazo y nivelación.....	94
Tabla N° 50 Costo unitario de movilización y desmovilización	94
Tabla N° 51 Costo unitario de acarreo de materiales	95
Tabla N° 52 Costo unitario de corte.....	95
Tabla N° 53 Costo unitario de conformación y compactación de base.....	95
Tabla N° 54 Costo unitario de botar tierra sobrante de excavación	96
Tabla N° 55 Costo unitario de adoquinado.....	96
Tabla N° 56 Costo unitario de cuneta rurales.....	97
Tabla N° 57 Costo unitario de vigas de remate	97
Tabla N° 58 Costo unitario de bordillo de concreto	97
Tabla N° 59 Costo unitario de vados de concreto	98
Tabla N° 60 Costo unitario de señales viales permanentes	98
Tabla N° 61 Costo unitario de limpieza final.....	98
Tabla N° 62 Presupuesto general de la obra (Etapa 1-3).....	99
Tabla N° 63 Presupuesto general de la obra (Etapa 4-6).....	100
Tabla N° 64 Resumen de costos por etapas	101
Tabla N° 65 Levantamiento topográficos.....	I

Tabla N° 66 Corrida de los bancos de nivel de precisión	II
Tabla N° 67 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales	II
Tabla N° 68 Sistema de clasificación de suelos AASHTO 93	III
Tabla N° 69 Correlación entre el tipo de material, CBR y k.....	IV
Tabla N° 70 Ensayo granulométrico, Límites de Atterberg, clasificación AASHTO 93 (Est. 0+000 – 0+800).....	V
Tabla N° 71 Ensayo granulométrico, Límites de Atterberg, clasificación AASHTO 93 (Est. 0+900 – 1+120).....	VI
Tabla N° 72 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (lunes 10 de junio de 2019)	IX
Tabla N° 73 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (martes 11 de junio de 2019)	X
Tabla N° 74 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (miércoles 12 de junio de 2019)	XI
Tabla N° 75 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (jueves 13 de junio de 2019)	XII
Tabla N° 76 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (viernes 14 de junio de 2019)	XIII
Tabla N° 77 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (sábado 15 de junio de 2019)	XIV
Tabla N° 78 Cuento de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Domingo 16 de junio de 2019)	XV
Tabla N° 79 Clasificación funcional de carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipos de superficie de rodamiento.....	XVI
Tabla N° 80 Extracto de indicadores macroeconómico de Nicaragua según BCN.	XVII

Tabla N° 81 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,0$	XVIII
Tabla N° 82 Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo	XIX
Tabla N° 83 Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo Vehículos Pesados	XX
Tabla N° 84 Take off limpieza inicial.....	XXIII
Tabla N° 85 Take off rótulo.....	XXIII
Tabla N° 86 Take off trazo y nivelación	XXIV
Tabla N° 87 Take off movilización y desmovilización de equipo	XXIV
Tabla N° 88 Take off movimiento de tierra	XXV
Tabla N° 89 Take off botar tierra de excavación	XXV
Tabla N° 90 Take off acarreo de materiales	XXVI
Tabla N° 91 Take off conformación con selecto y compactación	XXVI
Tabla N° 92 Take off carpeta de rodamiento.....	XXVII
Tabla N° 93 Take off cunetas, andenes y bordillos	XXVIII
Tabla N° 94 Take off viga de remates	XXIX
Tabla N° 95 Take off bordillo de concreto	XXIX
Tabla N° 96 Take off vados de concretos.....	XXX
Tabla N° 97 Take off señalización horizontal y vertical	XXXI
Tabla N° 98 Take off limpieza final y entrega	XXXI

Índice de ilustración

Ilustración N° 1 Macro localización del tramo en estudio	2
Ilustración N° 2 Micro localización del tramo en estudio.....	3
Ilustración N° 3 Curva circulares simples	14
Ilustración N° 4 Curvas circulares compuestas	15
Ilustración N° 5 curva inversa o reversa	15
Ilustración N° 6 Sobre ancho en la curva circular	20
Ilustración N° 7 Curvas verticales en cresta, y curvas verticales en columpio	23
Ilustración N° 8 Porcentajes de valores vs C.B.R.....	36
Ilustración N° 9 Macro y micro localización del banco de préstamo San José del Guasimal	37
Ilustración N° 10 Curva granulométrica del banco de préstamo.....	40
Ilustración N° 11 Grafica densidad seca vs humedad optima	41
Ilustración N° 12 Ubicación del punto de conteo vehicular.....	45
Ilustración N° 13 Comportamiento de la composición del Tránsito Diurno Semanal	46
Ilustración N° 14 Comportamiento del Tránsito Diurno Semanal	46
Ilustración N° 15 Composición de Transito Promedio Diario Anual.....	51
Ilustración N° 16 Correlación entre TPDA y POB de la estación 107	55
Ilustración N° 17 Correlación entre Ln POB y Ln TPDA de la estación 107	55
Ilustración N° 18 Correlación lineal entre PIB y TPDA	57
Ilustración N° 19 Correlación entre PIB y TPDA.....	58
Ilustración N° 20 Nomograma para el cálculo del SN estructural requerido	72
Ilustración N° 21 Software de diseño WinPAS	73
Ilustración N° 22 Selección del Tipo de Pavimento a Diseñar.....	73

Ilustración N° 23 Introducción de Datos en WinPAS	74
Ilustración N° 24 Introducción de Datos en WinPAS y cálculo de SN requerido en WinPAS	75
Ilustración N° 25 Introducción de Layers de Diseño.....	76
Ilustración N° 26 Estructura de pavimento articulado por medio del Software WinPAS	76
Ilustración N° 27 Procedimiento para determinar el espesor.....	77
Ilustración N° 28 Coeficiente estructural a_2 y el módulo de resiliencia para la base	79
Ilustración N° 29 Esquema de la estructura de pavimento.	83
Ilustración N° 30 Estructura de Final de Pavimento articulado.....	85
Ilustración N° 31 Derecho de vía y sección transversal típica de una carretera colectora rural.....	III
Ilustración N° 32 Perfil estratigráfico del suelo	VII
Ilustración N° 33 Muestras de suelo	VIII
Ilustración N° 34 Ensayo de granulometría	VIII
Ilustración N° 35 Conteo vehicular durante toda la semana.....	XXI
Ilustración N° 36 Fotografías del terreno actual	XXII

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES



1.1 Introducción

En Nicaragua hay un total de 18,000 km de carreteras, de los cuales el 10.06% son de asfalto, el 6.27% son de adoquinados, el 1.21% de concreto hidráulico, 12.81% revestidos, 0.14% empedrado, 39.85% todo tiempo y 29.71% de estación seca (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2018).

En el casco urbano del municipio de La Trinidad las carreteras son adoquinadas, no obstante, en el área rural las carreteras son del tipo revestidos y de todo tiempo. Asimismo, el municipio cuenta con una población de 20,140 habitantes, teniendo como base económica la agricultura y pequeñas y medianas empresas panaderas.

La comunidad de San Francisco al sur del casco urbano del municipio, actualmente tiene dificultades de transporte debido al mal estado del tramo carretero de 1,120 m que une el poblado con la Carretera Panamericana. Por lo antes mencionado se dificulta el tránsito de vehículos de pasajeros y de carga, lo que provoca que la población camine desde la comunidad hasta el empalme de la Carretera Panamericana, para tomar las líneas de transporte intermunicipales y realizar diversas actividades necesarias para su desarrollo.

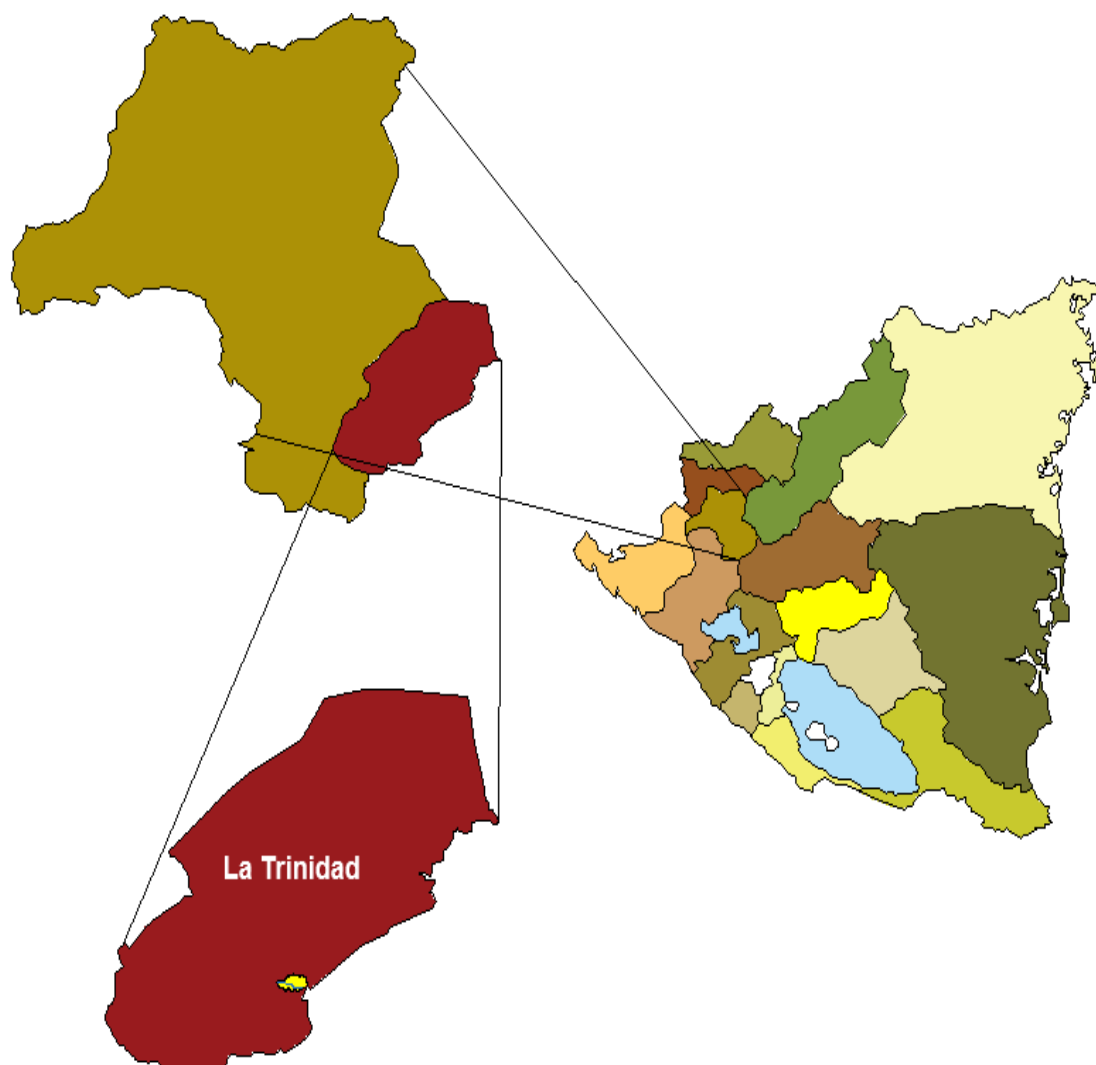
Por tanto, se planteó diseñar geométricamente el tramo carretero con sus obras de drenaje requeridas, así como los espesores acordes a las cargas actantes proyectadas aplicando el método de AASHTO 93, así como normas regionales para diseño de carreteras. Una vez que se logre construir este diseño, facilitará el acceso de los usuarios, así como la comercialización de las artesanías de mecates y sus derivados en los mercados de Honduras y Nicaragua, actividad que representa la mayor fuente de ingreso de las familias en la comunidad mejorando significativamente la calidad de vida de la población.

1.2 Ubicación y localización

1.2.1. Macro localización

El tramo en estudio se encuentra localizado al norte de Nicaragua, en el municipio de La Trinidad del departamento de Estelí a la altura del kilómetro 125. La Trinidad, ciudad del pan, corazón del norte, puertas de entrada a Las Segovias. El cual tiene una extensión territorial de 270 km², limita al norte con la ciudad de Estelí, al sur con el municipio San Isidro (Matagalpa), al este con los municipios de San Rafael del Norte, Jinotega y Sébaco y al oeste con el municipio de San Nicolás.

Ilustración N° 1 Macro localización del tramo en estudio



Fuente: Elaboración por sustentantes

1.2.2. Micro localización

El tramo en estudio se localiza al sur del casco urbano del municipio de La Trinidad, departamento de Estelí, en la comunidad San Francisco con un número de población de 1,722 habitantes. Iniciando en la estación 0+000 en el kilómetro 120 de la Carretera Panamericana Norte, con una longitud de 1,120 m y finalizando en la estación 1+120 m puente La Quebrada.

Ilustración N° 2 Micro localización del tramo en estudio



Fuente: Google Maps

1.3 Antecedentes

Según el Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE) del año 2005, la comunidad tiene una población de 1,722 habitantes. En una visita a la comunidad, Aguirre (2018), líder comunitario expresó que la comunidad de San Francisco del municipio de La Trinidad fue fundada en los años 1868, iniciando hace más de 150 años con 4 familias con 50 personas. La comunidad se nombró San Francisco, en honor al santo ídolo de San Francisco de Asís (A. Aguirre, comunicación personal, 25 de septiembre de 2018).

La actividad económica principal es la producción del mecate, nylon, hamacas, hilaza y diversos tipos de artesanías, lo que se fabrica en 250 talleres que generan 4 empleos cada uno. La producción se comercia mayormente en los mercados de la ciudad de Tegucigalpa en Honduras y en los mercados de la ciudad de Managua en Nicaragua. Actualmente la comunidad cuenta con un tramo de carretera adoquinado hasta el puente La Quebrada - San Francisco, no obstante, hay 1,120 m de carretera con material de grava, que une el poblado con la Carretera Panamericana Norte a la altura del kilómetro 120.

El mencionado tramo recibe un mantenimiento anual que consiste en la nivelación del tramo para reducir el número de baches, sin embargo, en la época lluviosa la carretera nuevamente se torna intransitable a causa de los innumerables baches.

Debido a las condiciones anteriores la comunidad en el año 2016 gestionó ante la Alcaldía Municipal el adoquinado de 1,120 m, desde el puente La Quebrada hasta el empalme San Francisco de la Carretera Panamericana, sin embargo, por falta de presupuesto no se ha generado una propuesta de diseño del tramo que pueda ser incluida en el plan operativo anual de la Alcaldía o sirva de insumo para la gestión de fondos.

1.4 Justificación

El mal estado del tramo carretero desde el puente La Quebrada en la comunidad San Francisco, hasta el empalme de la Carretera Panamericana Norte a la altura del kilómetro 120, dificulta el acceso a los mercados de Honduras y Nicaragua, afectando directamente a la comercialización de las artesanías de mecates, sacos y sus derivados, actividad que es la base de la economía de la comunidad. Lo anterior ha provocado que la población camine hasta el empalme de la Carretera Panamericana para dirigirse a los mercados donde venden sus productos.

Por lo anterior se realizó el diseño de 1,120 m en el tramo desde el puente La Quebrada hasta la Carretera Panamericana Norte a la altura del kilómetro 120 que incluyó el diseño vial y de la estructura de pavimento. Una vez que este diseño pueda ser implementado, beneficiará directamente la actividad comercial de una población de 1,722 habitantes. De esta manera aumentará la plusvalía de las propiedades, reducirán el costo de operación vehicular, así como el tiempo de viaje pudiendo ésta ser un elemento clave para fomentar el desarrollo turístico. De igual manera habrá una reducción en los vectores de enfermedades al reducir emisiones de gases y partículas en suspensión para los habitantes aledaños al tramo.

Una vez que se cuente con el tramo construido se contribuirá en la promoción del desarrollo socio económico de la comunidad y poblados aledaños, debido al mayor acceso del transporte público y urbano, a la mayor presencia de instituciones públicas, comerciantes y otros agentes económicos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Diseñar el tramo vial de 1,300 m de pavimento semi - rígido empalme San Francisco – Puente La Quebrada del municipio de La Trinidad, departamento de Estelí.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio topográfico del tramo vial de 1,300 m desde la comunidad San Francisco hasta el empalme de la Carretera Panamericana Norte.
- Diseñar geométricamente el tramo con su sistema de drenaje aplicando las normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).
- Realizar el estudio de suelo que permita establecer las características físico-mecánicas de los suelos de línea y en los posibles bancos de préstamo.
- Determinar por medio de un aforo vehicular, el Tránsito Promedio Anual que permita el cálculo de ejes de cargas simples equivalentes para el diseño de pavimento.
- Diseñar la estructura de pavimento del tramo vial de 1,300 m de la comunidad San Francisco hasta el empalme de la Carretera Panamericana aplicando el método AASHTO 93.
- Elaborar un presupuesto del tramo en estudio, en base al diseño geométrico y a la estructura de pavimento, así como de las obras de protección relacionadas.

CAPÍTULO II ESTUDIO TOPOGRÁFICO



2.1 Introducción

La topografía tiene como finalidad la determinación de la posición relativa de los puntos sobresalientes localizados sobre la superficie de la tierra, los cuales permitirán obtener una representación gráfica que proporcione las principales características del relieve, mediante un mapa topográfico (Matera, 2002).

2.2 Generalidades

De acuerdo con (Matera, 2002) se describe dos tipos de levantamiento:

2.2.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es uno de los estudios principales en la formulación de cualquier diseño tanto horizontal como vertical, y su elaboración debe ser realizada con mucho detenimiento y precisión. Cualquier error en los datos registrados afectara considerablemente los diseños.

2.2.2 Tipos de levantamientos

Los estudios topográficos se dividen en planimetría y altimetría, la primera estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. Por su parte la altimetría tiene en cuenta la diferencia de nivel existente entre los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente corresponde al nivel medio del mar (Matera, 2002).

2.3 Metodología

Se realizó el levantamiento del tramo de la vía cuya longitud real fue de 1,120 m partiendo del empalme de la Carretera Panamericana Norte a la altura del kilómetro 120 donde se estableció el primer BM, asimismo, se ubicó la primera estación 0+000 la cual se referenció a la red geodésica nacional y adopta las coordenadas UTM y DATUM WGS84 de acuerdo a la norma de INETER.

Las estaciones se realizaron cada 20 m sobre el eje de la vía tomando lecturas de distancias y elevaciones con la Estación Total LEICA FlexLine hacia ambos

hombros de la vía hasta el final de la misma en el puente La Quebrada donde se marcó la estación 1+120.

Las dimensiones de las láminas fueron teniendo en cuenta el formato ISO A3 con ancho x alto de 297 x 420 mm, con un margen 10 mm en la parte inferior para colocar el rotulado e información que deberá llevar la lámina. Las láminas fueron dibujadas con la dirección Norte-Sur.

Los datos de la libreta digital de la estación, se descargaron en formato TXT, y posteriormente importados en el programa de Civil 3D, software que se usó para la elaboración de los planos, curvas de nivel y el perfil longitudinal del terreno natural.

Para el estudio topográfico fue necesario el levantamiento de **684 puntos**, por el cual solo se refleja solamente los primeros 40 puntos en el formato correspondiente como una referencia (**ver anexo A, Tabla N° 65, pág. I**). La línea base del levamiento se estableció a partir de dos puntos iniciales considerados como BM con el apoyo de un GPS Marca Trimble modelo R8s (BM1 y BM2), cuyas coordenadas geodésicas son X: 584897.55, Y: 1430406.00, Z: 564.00 así como X: 584779.04, Y: 1430410.97, Z: 573.15 respectivamente. También se muestran los puntos finales (BM9 y BM10), cuyas coordenadas geodésicas son X: 584316.12, Y: 1429755.464, Z: 587.338 así como X: 584179.99, Y: 1429728.79, Z: 591.03 respectivamente.

Una vez que se realizó el levantamiento, se corrió los BM dejando en el tramo carretero 10 BMs adicionales para el replanteo posterior del diseño planteado. Las coordenadas y elevaciones correspondientes se muestran en el **anexo B. Tabla N° 66, Pág. II**.

2.4 Resultado del estudio topográfico

Una vez que se realizó el levantamiento topográfico con el equipo utilizado en campo, los puntos fueron descargados de la libreta digital de la estación a un archivo de formato TXT, luego fueron importados al software Civil 3D, ya que es una herramienta de diseño y cálculo muy útil en el desarrollo de diseño del sitio, con el cual se produjeron los siguientes planos del levantamiento topográfico como se muestra en la **Tabla N° 7, pág. 29**.

- Plano topográfico planta - perfil estación 0+000 – 0+680
- Plano topográfico planta - perfil estación 0+680 – 1+120 (**Ver juego de planos, pág. XXXII en adelante**).

Acorde al modelo digital del terreno generado a partir de los puntos levantados, se encontró que la longitud total de la vía fue de 1,120 m desde el empalme San Francisco hasta el puente La Quebrada, como se muestra en los planos topográficos planta – perfil (**Ver juegos de planos, pág. XXXII, Planos topográficos planta – perfil N°1 y N° 2**).

Asimismo, considerando las Normas Regionales para el Diseño de Carreteras SIECA – 2004, el terreno es ondulado según la **Tabla N° 4 pág. 22** con una pendiente natural máxima de 11.91% y pendiente natural mínima de 0.34%. Tomando en cuenta la pendiente y características del terreno natural antes mencionado según la Normas Regionales para el Diseño de Carreteras SIECA 2004, que considera un máximo de 10% de pendiente como criterio de diseño, por lo que puede inferirse que los cortes serán mínimos para adecuar la rasante de diseño al terreno natural.

CAPÍTULO III DISEÑO GEOMÉTRICO



3.1 Introducción

El diseño geométrico es la parte más importante dentro de un diseño vial o mejoramiento de una vía, mediante éste se determina su configuración tridimensional, es decir, la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos de la carretera de manera que ésta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008, pág. 28).

3.2 Metodología

Para el diseño geométrico se siguió el siguiente proceso metodológico donde cada ítem que a continuación se presentó se resolvió basado en una tabla o nomograma.

- La vía se caracterizó siguiendo la clasificación por su función según el Manual para la Revisión de Diseños de Pavimentos del MTI y las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales SIECA 2004.
- Basado en el tipo de vía, el volumen de tránsito y relieve se determinó la velocidad de diseño y vehículo de diseño.
- Conociendo la velocidad de diseño y vehículos de diseño se determinó los parámetros geométricos horizontales y verticales.
- De acuerdo al tipo de vía seleccionado se determinó la sección típica y derecho de la vía y sus diferentes criterios de diseño (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004, pág. 30).

Una vez determinado los valores de los diferentes componentes geométricos de la vía se procedió a la definición de la rasante y al diseño de todos los elementos horizontales y verticales utilizando el software Civil 3D, basándose en la norma regional para el diseño de carreteras (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

3.3 Resultado del diseño geométrico

3.3.1 Caracterización de la vía

La vía se clasificó como una colectora rural debido a que el TPDA fue de 474 veh/día, como se muestra en el **anexo D, Tabla N° 79, pág. XVI**. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004, pág. 10) y según Red vial de Nicaragua (MTI) como una colectora secundaria debido a que suministra conexiones a una categoría superior de comunicación para centros urbanos y generadores de tráfico menor, son caminos de alta importancia municipal con poblaciones mayores de 5,000 habitantes y el flujo vehicular del aforo fue de 474 veh./día que es mayor a los 250 veh./día (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2018, págs. 25 - 27).

3.3.2 Velocidad de diseño y vehículo de diseño

Se asumió según las recomendaciones de las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA – 2004), la velocidad de diseño de 30 km/h, debido a que el tramo carretero se clasifica como una colectora rural con relieve ondulado según la **Tabla N° 4 pág. 22** y vía sinuosa (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004, pág. 94) y como vehículo de diseño un Bus tipo C-2 (**ver anexo D, Tabla N° 83, pág. XX**).

3.3.3 Establecimiento de las normas generales de diseño

Para la elaboración del diseño vial, se adoptaron las especificaciones de la “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets” (Normas sobre diseño de carreteras y vías urbanas) publicada por la AASHTO 93 y los requerimientos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua.

Las normas de diseño se definieron por los criterios aportados, los cuales se basan en los requerimientos normativos del MTI para los diseños de caminos de una colectora rural junto a las normas de la AASHTO 93.

Con los criterios del MTI se definieron los siguientes parámetros: distancia entre ejes, coeficiente de fricción longitudinal, radio de curvatura máximo, pendiente transversal, pendiente del hombro, pendiente longitudinal máxima, sobre-ancho

máximo, distancia de visibilidad de parada y rebase en función de la velocidad de diseño (**Tabla N° 1**).

Tabla N° 1 Parámetros horizontales y verticales utilizados en el diseño geométrico

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad
Derecho de vía (Máx.)	metros	20
Velocidad de diseño (VD)	km/h	30.00
Número de carriles	unidad	2.00
Vehículo de diseño tipo	bus	C-2
Ancho de carriles de rodamiento	metros	3.30
Ancho de rodamiento	metros	6.60
Ancho de corona	metros	6.90
Ancho de cuneta (mínimo)	metros	0.6
Distancia entre ejes	metros	8
Coeficiente de fricción lateral	S/d	0.17
Radio de curvatura mínimo	metros	27
Grado de curvatura máximo	grado	45°50'
Súper elevación máxima (peralte)	%	8.00
Desarrollo de la súper elevación	MÉTODO AASHTO	
Pendiente transversal	%	3.00
Pendiente longitudinal máxima	%	11.91
Pendiente longitudinal mínima	%	0.34
Sobreancho mínimo en curvas Horizontales	metros	0.6

Fuente: Elaboración por sustentantes basado en SIECA (2004)

Nomenclatura:

LT = Longitud de transición del peralte

N = Longitud de transición p/eliminar CN en orilla externa (m)

ET= PTO. Donde empieza la longitud de transición del peralte (m)

CN= Corona normal

P= Peralte %

Sa= Sobreancho (m)

VD = Velocidad de diseño (km/h)

Rmin= Radio mínimo de curvatura (m)

Pmax= Peralte máximo (%)

Gc= Grado de curvatura de la curva

Gmax= Grado máximo de curvatura (grado)

R= Radio de curvatura de la curva (m)

f = Coeficiente de fricción por rotación lateral

Ac= Ancho de carril

m= Pendiente relativa, entre el hombro y el eje del camino

B= Bombeo o pendiente transversal (%)

L= Longitud entre ejes del vehículo del diseño (m)

n= Número de carriles

Nota: Todas las unidades de medida están en sistema métrico.

3.3.4 Alineamiento horizontal

Se considera como la proyección sobre un plano horizontal del eje de la sub-corona del camino. Los elementos que lo integran son los siguientes:

3.3.4.1 La tangente

Es la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de dos tangentes se le denomina PI (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

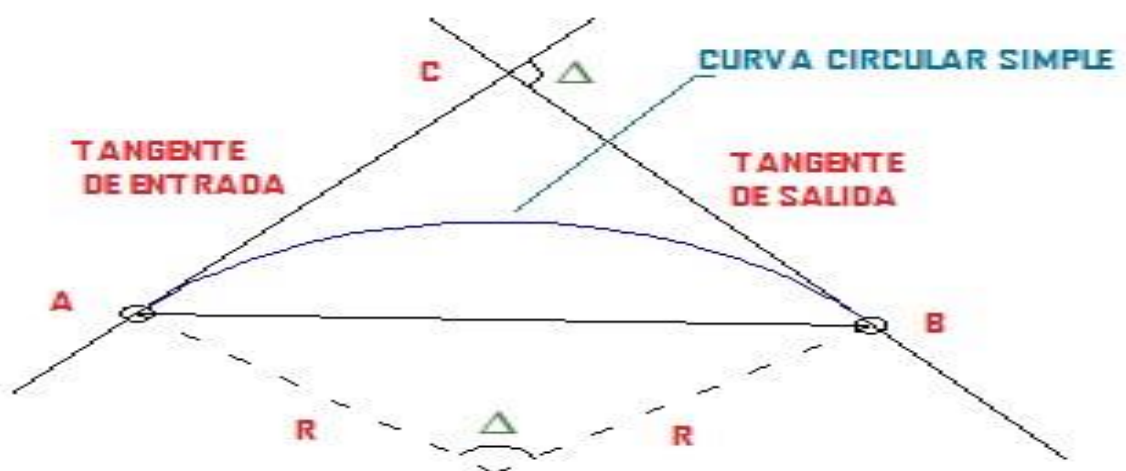
3.3.4.2 Curvas circulares

La curva circular es un arco de influencia que se emplea en las obras longitudinales, para lograr un cambio gradual en la dirección de las tangentes y que al mismo tiempo sirven de unión entre las mismas (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

- **Curvas circulares simples**

Las curvas circulares simples, están formadas por solo un arco de circunferencia, es decir, un segmento de circunferencia que sirve de acuerdo entre dos alineaciones, a como se muestra en la **Ilustración N° 3**.

Ilustración N° 3 Curva circulares simples

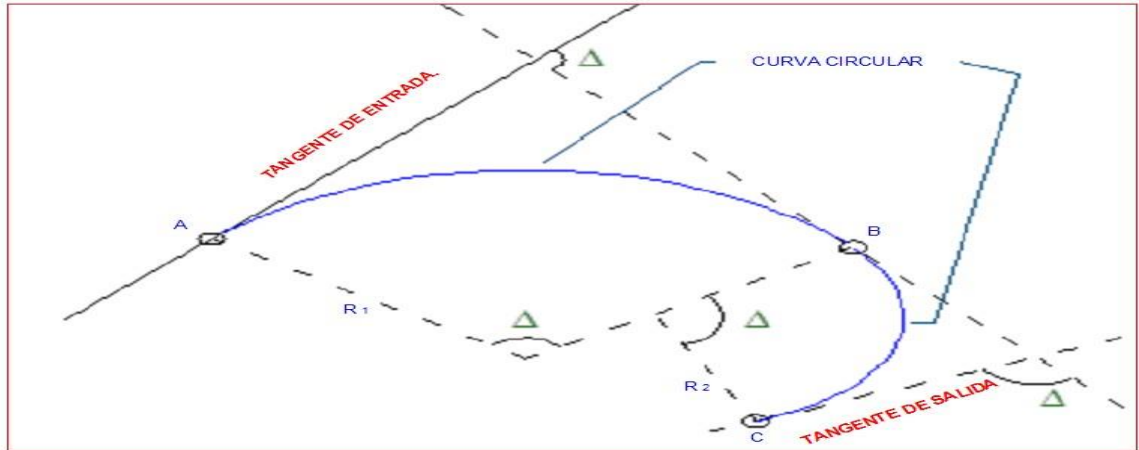


Fuente: Geometric design of Highways and Streets – AASHTO 2001

- **Curvas circulares compuestas**

Las curvas compuestas, se forman con la combinación de dos o más arcos de circunferencia, uno a continuación de otro. Los radios de cada curva son diferentes y con tangentes comunes en el punto de unión. Los centros de curva están ubicados, a un mismo lado del ángulo de deflexión Δ (**Ilustración N° 4**).

Ilustración N° 4 Curvas circulares compuestas

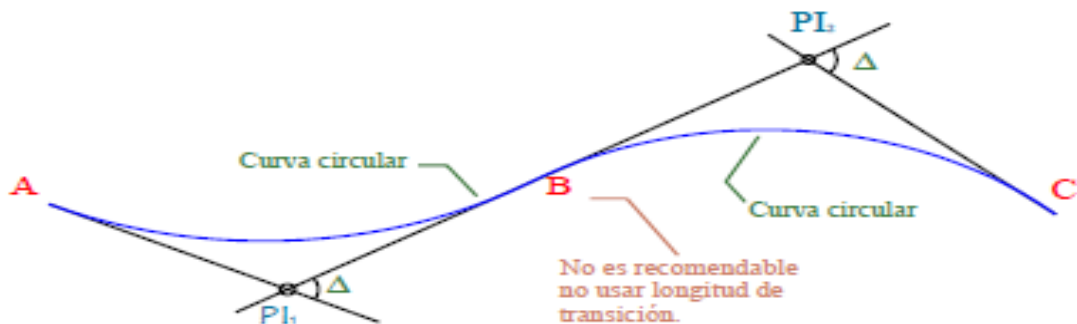


Fuente: Geometric desing of Highways and Strets – AASHTO 2001

- **Curvas inversas o reversa**

Son aquellas compuestas por dos curvas circulares, de sentido contrario o continuo y con tangente comunes en el punto compuesto por dos de unión (**Ilustración N° 5**).

Ilustración N° 5 curva inversa o reversa



Fuente: Geometric desing of Highways and Strets – AASHTO 2001

- **Cálculos empleados en el diseño de curvas circulares**

Para el diseño de las curvas se deben tener los siguientes datos:

- **Levantamiento topográfico:**

- Δ Deflexión de la curva.
- PI Intersección de las tangentes de la curva.

- **Estudio del tránsito:**

- Criterios de diseño de una colectora rural de acuerdo con las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA – 2004) **(ver anexo B, Tabla N° 67, pág. II)**.
- Velocidad de diseño (VD): se asumió **30km/h** menor a los 60km/h establecido en las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA – 2004) **(ver anexo B, Tabla N° 67, pág. II)**. La velocidad menor que se asumió fue debido a la condición del uso actual de los suelos y a la dificultad de disponer de más áreas para el desarrollo de radios más grandes.
- Se asumió una sobreelevación “e” de **8%**, basado en la Manual para Revisión de Diseño Geométricos (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008, pág. 142) y un Coeficiente de fricción lateral de la curva f : **0.17** para una velocidad de **30km/h** como se muestra en la **Tabla N° 2**.

Tabla N° 2 Coeficientes de fricción lateral

Velocidad de diseño (km/h)	Factor de fricción máximo
30	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15
70	0.15
80	0.14
90	0.13
100	0.12
110	0.11
120	0.09

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004

Atendiendo a la velocidad de diseño asumida (**30km/h**) y un peralte mínimo “e” **8%**, se asumió el radio de curvatura recomendado de **30 m** basado en la **ecuación (1)**, que se indica en la **Tabla N° 3**.

Tabla N° 3 Radios mínimo y grado de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño

Velocidad de diseño (km/hr)	Factor de fricción máxima	Peralte Máximo 8 %			Peralte Máximo 10 %		
		Radio (m)		Grado de curvatura	Radio (m)		Grado de Curvatura
		Calc	Rec		Calc	Rec	
30	0.17	28.3	30	38°12'	26.2	25	45°50'
40	0.17	50.4	50	22°55'	46.7	45	25°28'
50	0.16	82	80	14°19'	75.7	75	15°17'
60	0.15	123.2	120	9°33'	113.4	115	9°58'
70	0.14	175.4	175	6°33'	160.8	160	7°10'
80	0.14	229.1	230	4°59'	210	210	5°27'
90	0.13	303.7	305	3°46'	277.3	275	4°10'
100	0.12	393.7	395	2°54'	357.9	360	3°11'
110	0.11	501.5	500	2°17'	453.7	455	2°31'
120	0.09	667	665	1°43'	596.8	595	1°56'
Calc: Calculado		Rec: Recomendado					

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 156

Para luego calcular los elementos a continuación:

➤ **Cálculo de radio de curvatura.**

$$R = \frac{v^2}{127(e + f)}$$

Ecuación (1)

Donde:

R: Radio de curvatura (m)

e: Tasa de sobre elevación en fracción decimal

f: Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento

V: Velocidad de diseño (km/h)

➤ **Cálculo del grado de curvatura gradiente recomendado**

$$G_{\text{rec}} = \frac{\Delta}{10} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Este valor se redondea al inmediato inferior múltiplo de 0.5

➤ **Gradiente máximo**

$$G_{\text{max}} = \frac{145,692.96 * (f + e_{\text{max}})}{V_D^2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Nota: El G_D ; será el de menor valor entre el G_{rec} y el G_{max} .

➤ **Cálculo del radio de curvatura**

$$R = \frac{1,145.92}{G_D} \quad \text{Ecuación (4)}$$

1,500= CCS (Curva circular simple) según AASHTO 93

➤ **Cálculo de peralte de diseño**

$$e_D = e_{\text{max}} - e_{\text{max}} \times \left(\frac{G_{\text{max}} - G_D}{G_{\text{max}}} \right)^2 \quad \text{Ecuación (5)}$$

< 3%= CCS (Curva circular simple) según AASHTO 93.

Nota: Expresar con un decimal redondeado al inmediato superior.

➤ **Cálculo de la tangente**

$$T = R \times \tan \left(\frac{\Delta}{2} \right) \quad \text{Ecuación (6)}$$

➤ **Cálculo de la cuerda o desarrollo de la curva**

$$D = \left(\frac{20\Delta}{G_D} \right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

➤ **Cálculo de las estaciones**

$$PC = PI - T \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$PT = PC + D \quad \text{Ecuación (9)}$$

3.3.5 Desarrollo del peralte

Una vez calculado el valor del peralte que deberá tener la curva circular es necesario proporcionarlo de forma gradual (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

Existen tres formas de proporcionar el peralte a la curva, los cuales son:

- Desarrollo del peralte por el eje de la vía.
- Desarrollo del peralte por el borde interior.
- Desarrollo del peralte por el borde exterior.

➤ Cálculos empleados en el diseño del peralte

Para el diseño del peralte se emplearon los siguientes parámetros para los criterios de diseño de caminos según el ministerio de transporte e infraestructura (MTI):

- Ancho de la calzada. (a)
- Bombeo de la calzada (b)
- Pendiente relativa (m)

Los criterios de diseño para el desarrollo del peralte se basaron en la norma AASHTO 93 en lo que corresponde a colectoras rurales (**ver anexo B, Tabla 67, Pág. II**) un resumen de los parámetros asumidos se presenta anteriormente en la **Tabla N° 1**, donde el peralte fue de **8%**, la pendiente transversal o bombeo de **3%**, la pendiente longitudinal máxima **11.91%** y la pendiente longitudinal mínima **0.34%** y su ancho de calzada **6.6 m**.

➤ Cálculo de la Longitud de transición. (LT)

$$LT = m \times a \times e_D \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

a: Es el ancho de la calzada.

e_D : Es el peralte de diseño.

m: Es la pendiente relativa.

$$m = 1.5625 \times V_D + 75$$

Ecuación (11)

Nota: La pendiente relativa se calculó con la ecuación (11). Si el resultado no fuera un número, entonces el valor se redondea a un número mayor que sea múltiplo de 20.

➤ Cálculo de la transición del bombeo (N)

$$N = \frac{LT \times b}{e_D}$$

Ecuación (12)

Dónde:

LT: longitud de transición.

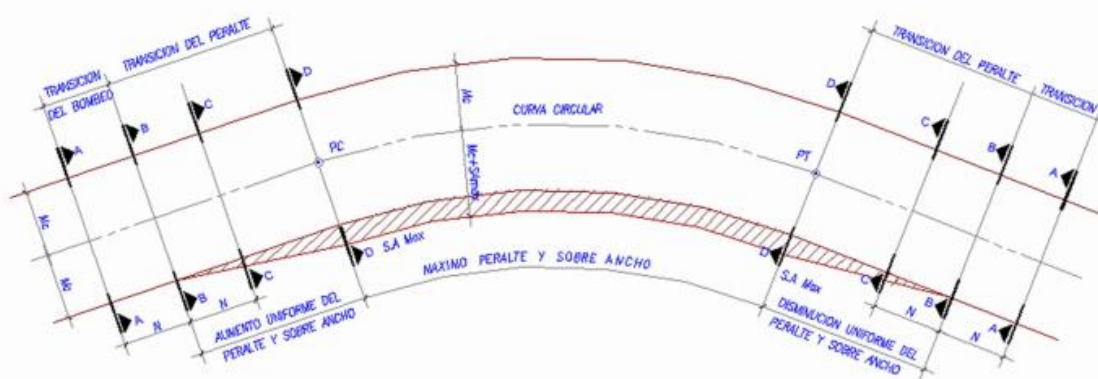
b: bombeo

e_D : peralte de diseño

3.3.6 Diseño del sobre-ancho

Como se explicó anteriormente, el sobre-ancho es la anchura adicional a la calzada respecto al ancho en la tangente para proporcionar la misma separación entre vehículos en las curvas que en las tangentes como se muestra en la **Ilustración N° 6** (Secretaria de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

Ilustración N° 6 Sobre ancho en la curva circular



Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

Para el diseño del sobre-ancho se tomaron las siguientes normas emitidas por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras según la AASHTO 93:

- Para fines de diseño, no se consideran los sobre-ancho que resulten menores de 60 cm, si el sobre-ancho resultase mayor deberá redondearse al decímetro superior.
- No es necesario ampliar la vía si los carriles tienen un ancho de 3.50 m o más.
- Es posible no considerar la ampliación, cuando el radio de la curva es mayor de 300 m.
- El sobre-ancho de la calzada en las curvas se da en lado interior; la raya central se pinta posteriormente en el centro de la calzada ampliada (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

Según las Especificaciones Generales para Diseño Geométricos de Caminos, el sobre-ancho se calcula mediante la ecuación (13):

$$Sa = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V_D}{10 \times \sqrt{R}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Nota: Se redondea valor a un decimal entero

Donde:

Sa: Sobre-ancho

n: Número de carriles.

R: Radio de la curva.

L: Longitud entre eje delantero y trasero del vehículo.

V_D : Velocidad de diseño.

➤ **Datos conocidos del sobre ancho de la calzada:**

- Velocidad de diseño (V_D).
- Radio de la curva (R).
- Longitud entre eje delantero y trasero del vehículo de diseño.
- Número de carriles. (n).

Los valores asumidos para el sobre-ancho que es la anchura adicional a la calzada respecto al ancho en la tangente, se basan en la norma AASHTO 93 en lo relacionado, el cual se clasificó como una colectora rural (**ver anexo B, Tabla N° 67, Pág. II**), para el diseño se utilizó un sobre-ancho mínimo de curva de **0.6 m**, su radio de curvatura mínimo **27 m**, como se mostró anteriormente en la **Tabla N° 1**.

3.3.7 Alineamiento vertical

El alineamiento vertical de una carretera depende de la configuración topográfica del terreno y la ubicación de la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificando las pendientes ascendentes (+) y descendentes (-), expresadas en porcentajes. Aparte de las consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y costos de operación de los vehículos, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Visibilidad y accidentalidad
- Composición del tránsito.
- Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

La AASHTO 93 citada por las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales SIECA – 2004, identifica las tres categorías generales de terreno en la **Tabla N° 4**, se asumió un terreno tipo ondulado debido a que la carretera presenta pendiente mínima de **0.34%** y pendiente máxima **11.91%**, en la forma que se describen seguidamente:

Tabla N° 4 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

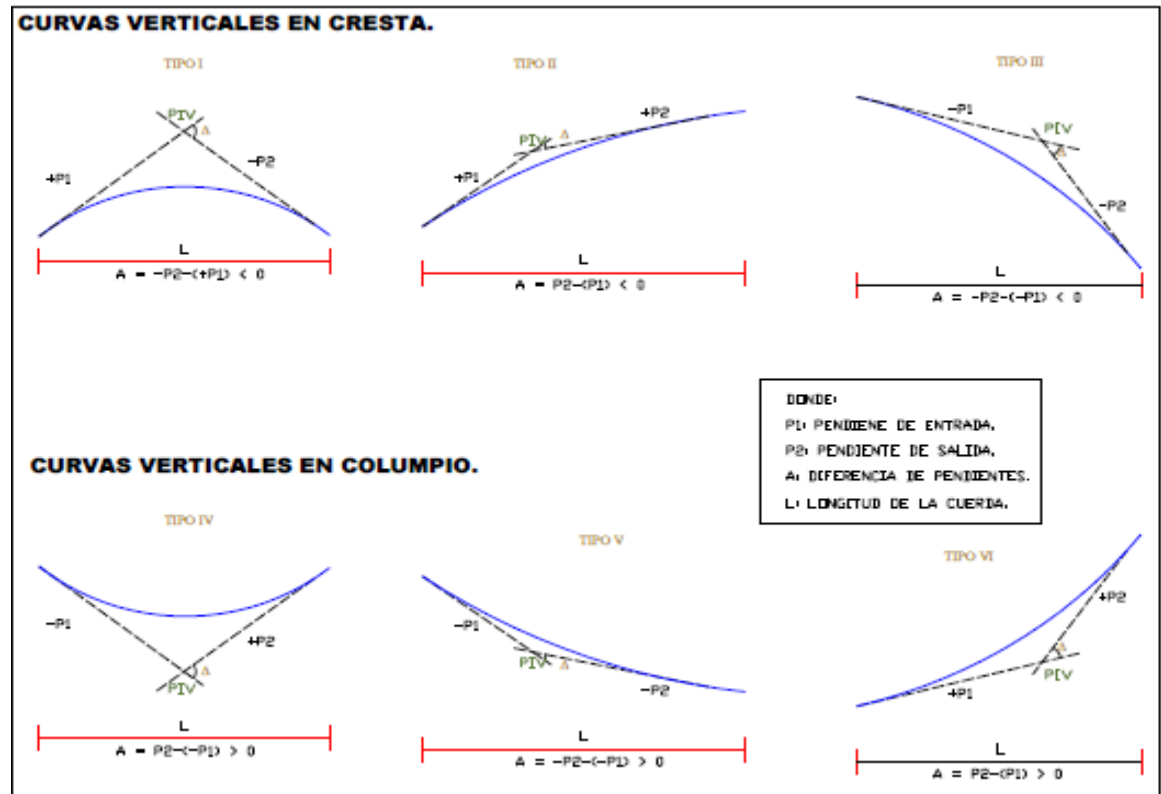
Tipo de terreno	Rango de pendiente (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004, pág. 154)

3.3.7.1 Tipos de curvas verticales

Las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo. Las curvas cóncavas hacia arriba se denominan Curvas en Cresta, y las curvas cóncavas hacia abajo se llaman Curvas en Columpio como se muestra en la **Ilustración N° 7**.

Ilustración N° 7 Curvas verticales en cresta, y curvas verticales en columpio



Fuente: Geometric Desing of Highways and Streets - AASHTO 2001

Según la AASHTO 93, se ha tomado la parábola para servir de acuerdo entre las tangentes del alineamiento vertical de las carreteras por los motivos siguientes:

- Son fáciles de calcular y replantear.
- Proporciona una longitud de visibilidad constante, en toda su longitud y comodidad en la conducción de los vehículos

3.3.7.2 Cálculo de curvas verticales en cresta o convexa

Existen dos condiciones para diseñar este tipo de curva: La primera considera que la longitud de la curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad (S) y la segunda se presenta cuando L es menor que S en el primer caso se aplica la ecuación (14) para calcular la longitud mínima (L) de la curva vertical (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

Datos conocidos del levantamiento topográfico:

- Elevación y estación del PIV.
- Pendientes
- Velocidad de diseño (estudio del tráfico)

Los criterios de diseño para el desarrollo de las curvas en cresta o convexa que se muestran en la **Tabla N° 5**, se basaron en la norma AASHTO 93 (**ver anexo B, Tabla 67, Pág. II**). Los parámetros asumidos se presentaron anteriormente en la **Tabla N° 1**, el cual la pendiente longitudinal máxima **11.91%** y la pendiente longitudinal mínima **0.34%**, su velocidad de diseño (VD) **30km/h** menor a los 60km/h establecido en las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA- 2004) (**ver anexo B, Tabla N° 67, pág. II**).

Tabla N° 5 Relación de curvatura vertical en cresta con la distancia de visibilidad de parada

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia de visibilidad de parada mínima	K: Relación de curvatura vertical	
		Longitud en m por % de variación de A	
		Calculado	Recomendado
30	30	2	2
35	40	3.6	4
40	45	4.5	5
45	55	6.7	7
50	60	8	8
55	70	10.9	11
60	75	12.5	13
65	85	16.1	16
70	90	18	18
75	100	22.2	22

Fuente: Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico MTI

3.3.7.3 Determinación de la Longitud de la Curva Vertical

$$L = k \times A \quad \text{Ecuación (14)}$$

Si: $S < L$ (Formulada tomada de la AASHTO 93)

Nota: El valor debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior.

Dónde:

L: Longitud de la cuerda.

A: Diferencia algebraica de las pendientes.

K: Relación de curvatura vertical. $K = \frac{S^2}{450}$

S: Distancia de visibilidad de parada.

➤ **Criterio de comodidad:**

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V_D^2}{395} \Rightarrow L \geq \frac{V_D^2 \cdot A}{395} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde A esta en porcentaje %

➤ **Criterio de Apariencia:**

$$K = \frac{L}{A} \geq 30 \Rightarrow L \geq 30 \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde A esta en porcentaje %

➤ **Criterio de drenaje**

$$K = \frac{L}{A} \leq 43 \Rightarrow L \leq 43 \quad \text{Ecuación (17)}$$

Donde A esta en porcentaje %

➤ **Cálculo de las estaciones**

$$PCV = PIV - L/2 \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$PTV = PIV + L/2$$

Ecuación (19)

➤ **Cálculo de la elevación del PCV y PTV**

$$ELEV_{PCV} = ELEV_{PIV} - [P1 \cdot (L/2)]$$

Ecuación (20)

$$ELEV_{PTV} = ELEV_{PIV} - [P2 \cdot (L/2)]$$

Ecuación (21)

3.3.7.4 Cálculo de curvas verticales o en columpio

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

- El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.
- La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.
- El último se basa en consideraciones estéticas (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004).

➤ **Datos conocidos del levantamiento topográfico:**

- Elevación y estación del PIV.
- Pendientes
- Velocidad de diseño. (estudio del tránsito.)

Los criterios de diseño para el desarrollo de las curvas en columpio como se muestra en la **Tabla N° 6**, se basaron en la norma AASHTO 93 (**ver anexo B, Tabla 67, Pág. II**). Los parámetros asumidos se presentaron anteriormente en la **Tabla N° 1**, el cual la pendiente longitudinal máxima **11.91%** y la pendiente longitudinal mínima **0.34%**, su velocidad de diseño (VD) **30km/h** menor a los 60km/h establecido en las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA – 2004).

Tabla N° 6 Relación de curvatura vertical en columpio con la distancia de visibilidad de parada

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia de visibilidad de parada mínima	K: Relación de curvatura vertical	
		Longitud en m por % de variación de A	
		Calculado	Recomendado
30	30	3.5	4
35	40	5.5	6
40	45	6.5	7
45	55	8.8	9
50	60	9.9	10
55	70	12.3	12
60	75	13.6	14
65	85	16.1	16
70	90	17.3	17
75	100	19.9	20

Fuente: Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico MTI

3.3.7.5 Determinación de la Longitud de la Curva Vertical

$$L = K \times A \quad \text{Ecuación (22)}$$

sí: $S < L$ (Formulada tomada de la AASHTO 93)

Nota: El valor debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior.

Donde:

L: Longitud de la cuerda.

A: Diferencia algebraica de las pendientes.

K: Relación de curvatura vertical. $K = \frac{S^2}{152 + (3.5 \cdot S)}$ (Especificaciones del MTI)

S: Distancia de visibilidad de parada.

➤ Criterio de drenaje:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43 \quad \text{Ecuación (23)}$$

$L \leq 43 \times A$ Dónde: A en %.

➤ **Cálculo de las estaciones**

$$PCV = PIV - L/2 \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$PTV = PIV + L/2 \quad \text{Ecuación (25)}$$

➤ **Cálculo de la elevación del PCV y PTV**

$$ELEV_{PCV} = ELEV_{PIV} - [P1 \cdot (L/2)] \quad \text{Ecuación (26)}$$

$$ELEV_{PTV} = ELEV_{PIV} - [P2 \cdot (L/2)] \quad \text{Ecuación (27)}$$

El cálculo de las curvas horizontales y verticales se realizó con el uso del Software Civil 3D, tomando en cuenta los criterios antes mencionados (**Ver juego de planos a partir de la pág. XXXII, Plano planta – perfil N° 4 y N° 5 de 9).**

En el diseño horizontal, existen 12 curvas las cuales cumplen con los criterios de diseño del Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA – 2004), ya que sus radios son mayores de 25 en lo establecido respectivamente (**Ver juegos de planos a partir de la pág. XXXII, Tabla de elementos de la curva Plano N° 3 de 9).**

En el alineamiento vertical se obtuvieron 12 curvas, donde 7 de ellas son en cresta o convexa y 5 son en columpio o cóncavas, todas ellas cumplen con los criterios normados por SIECA- 2004 (**Ver juegos de planos a partir de la pág. XXXII, Plano planta – perfil N° 4 y N° 5 de 9).**

3.3.8 Sección típica y derecho de la vía

Los criterios de diseño para la sección típica y derecho de la vía, se basaron en la Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA – 2004) (**ver anexo B, Ilustración N° 31, pág. III**), un resumen de los parámetros asumidos se presenta anteriormente en la **Tabla N° 1 pág. 12**, donde el derecho de vía es de **20 m**, números de carriles **2**, el ancho de rodamiento es de **3.30 m** por carril, ancho variable máximo de **0.50 m** y su bombeo de **3 %** (**Ver juegos de planos a partir de la pág. XXXII, Sección típica Plano N° 1 de 9).**

3.3.9 Elaboración de los planos

La información del levantamiento topográfico y diseño geométrico vial fue utilizada para elaborar los planos finales de construcción en hojas planta – perfil como se muestra en la **Tabla N° 7**, los cuales muestran la línea central, secciones transversales, perfil longitudinal, límites de derecho de vía, datos de curva, referencias de línea central, BMs y sus referencias (**Ver juego de planos a partir de la página pág. XXXII**).

Tabla N° 7 Resumen de planos topográfico y diseños geométricos

Planos topográficos	N° Hojas
Planta - perfil estación 0+000 – 0+680	Hoja 1 de 2
Planta - perfil estación 0+680 – 1+120	Hoja 2 de 2
Planos del diseño geométricos	N° Hojas
Sección típica	Hoja 1 de 9
Detalles de colocación	Hoja 2 de 9
Tabla de elemento de la curva	Hoja 3 de 9
planta - perfil estación 0+000 – 0+680	Hoja 4 de 9
Planta - perfil estación 0+680 – 1+120	Hoja 5 de 9
Sección N° 1	Hoja 6 de 9
Sección N° 2	Hoja 7 de 9
Sección N° 3	Hoja 8 de 9
Sección N° 4	Hoja 9 de 9

Fuente: Elaboración por sustentantes

CAPÍTULO IV ESTUDIO DE SUELO



4.1 Introducción

El estudio de suelo permitió conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad. Igualmente, el estudio de suelo describió la calidad del banco de préstamo que se utilizará para el sitio en estudio.

Para el estudio siempre se tuvo como referencia el trazado actual de la carretera, con la finalidad de evaluar y establecer las características físico-mecánicas de la sub-rasante del terreno natural sobre la cual se apoyará la rasante, en general el diseño de la estructura del pavimento (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

4.2 Generalidades

- **Clasificación de suelos**

Según SIECA, (2002) como resultado del estudio de suelo se puede describir la clasificación de los mismos en términos de sus propiedades físico - mecánicas. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como sub-rasante es la clasificación de AASHTO 93.

Dada la gran variedad de los suelos que se presenta en la naturaleza, la mecánica de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado, de este modo se tiene la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas, como la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO 93).

4.3 Metodología

El estudio de suelo se realizó por medio de sondeos manuales los cuales se hicieron a cada 100 m, iniciando en la estación 0+000 y finalizando en la estación 1+120, teniendo una profundidad de 1.5m x 0.5m de ancho y 0.5m de largo. Las muestras se tomaron alternando entre el hombro derecho e izquierdo de la vía.

El peso promedio de la muestra que se recolectaron fue de 3 a 5 kg las cuales fueron empacadas en bolsas, plásticas y almacenadas en una bodega adecuada para que la muestra no recibiera humedad, radiación solar u otros factores que pudieran modificar las características naturales de las mismas **(ver anexos C, Ilustración N° 33 y 34, pág. VIII)**.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de suelo ASYC de Estelí, institución técnica que facilitó todos los medios necesarios para que los autores de esta tesis pudieran realizar los análisis previstos.

Los análisis que se realizaron fueron: Granulometría de los suelos, límites de Atterberg de conformidad con las normas ASTM y AASHTO 93, cada muestra se clasificó basado en su granulometría de acuerdo al método AASHTO 93.

A las 34 muestras de la sub-rasante recolectadas en campo se le realizaron los ensayos que se describen en el **Tabla N° 8**.

Tabla N° 8 Estudios de suelo en el laboratorio ASYC

Ensayos	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Granulometría de los suelos	D – 422	T – 2788
Limites líquido de los suelos	D – 423	T – 8990, 9087
Índice de plasticidad de los suelos	D – 424	T – 9097
Peso unitario	–	T – 1988
Ensayo proctor estándar	D - 698 - 91	T - 99-01
Ensayo del valor relativo soporte o relación de soporte de california (CBR)	D – 1883 – 73	T – 193 – 81

Fuente: AASHTO, tercera edición. Año 2003. Página 53 – 85

Asimismo, se realizaron los ensayos descritos en el **Tabla N° 8** a las muestras tomadas en el banco de préstamo, el cual se ubicó en el municipio de La Trinidad, salida sur en el kilómetro 123, Barrio San José del Guasimal.

También se realizaron 13 perfiles con una profundidad de 1.50 m los cuales describen la estratigrafía del suelo a intervalos de 100 m, además se indicó en el mismo el nivel de la sub-rasante la cual se localizó a 0.25 m de profundidad (**ver anexos C, Ilustración 32, pág. VII**). Los suelos subyacentes a los 0.25 m serán los que correspondan a la sub-rasante, por tal razón, son los suelos que soportan la carga del tráfico vehicular y los de interés para la toma de muestra y análisis con el propósito final de conocer el valor del CBR mediante el cual se determinó el CBR de diseño el cual a su vez es necesario para conocer el módulo de resiliencia (M_R).

4.4 Resultado de los ensayos de suelos en línea

Los análisis que se realizaron fueron: Granulometría de los suelos, límites de Atterberg de conformidad con las normas ASTM y AASHTO 93, cada muestra se clasificó basado en su granulometría de acuerdo al método AASHTO 93 (**ver anexo C, Tabla N° 70, pág. V y VI**).

A los ensayos que se emplearon a las muestras de suelos tomadas de la estación inicial 0+000 hasta la estación final 1+120 de la comunidad San Francisco en el kilómetro 120 Carretera Panamericana, se realizaron los estudios en el laboratorio ASYC Estelí, demostrándose que los suelos de la sub-rasante son de

excelentes a bueno según la clasificación AASHTO 93, cuya clasificación general es de materiales granulares, (**ver anexo C, Tabla N° 68, pág. III**).

A continuación, se presentan en la **Tabla N° 9** un resumen de la clasificación de las muestras basadas en la clasificación AASHTO 93, la cual caracterizó los suelos predominantes en el tramo en estudio, asimismo, se presentan los resultados de todas las muestras tomadas para el presente estudio (**ver anexo C, Tabla N° 70, pág. VI y VI**).

Tabla N° 9 Clasificación de suelo de la sub-rasante

Constituyentes principales	Grupos	Frecuencia
Fragmentos de roca, grava y arena	A-1-a (0)	2
Fragmentos de roca, grava y arena	A-1-b (0)	11
Grava y arena arcillosa o limosa	A-2-4 (0)	8
Grava y arena arcillosa o limosa	A-2-5 (0)	1
Grava y arena arcillosa o limosa	A-2-6 (0)	10
Grava y arena arcillosa o limosa	A-2-7(0)	2
	Total	34 muestras

Fuente: Elaboración por sustentantes

4.4.1 Determinación del CBR de diseño

El ensayo CBR mide la resistencia al esfuerzo cortante de suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub-rasante, sub-base y base para pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO 93.

En el presente diseño se determinó el CBR para cada uno de los estratos de suelos localizados en los sondeos manuales de 1.5 m en la sub-rasante, lo cual se realizó mediante la correlación tipo de material y CBR según la clasificación AASHTO 93 (**Ver anexo C, Tabla N° 70, pág. V y VI**). los resultados de los estratos que soportaran las cargas se determinaron en base a la línea de la subrasante (**Ver anexo C, Ilustración N°32, pág. VI**), la cual se encuentra a 0.25 m de profundidad. Los valores de CBR de los estratos se presenta en la **Tabla N° 10**, los cuales sirvieron para determinar el CBR de diseño de la subrasante que se describen a continuación.

Tabla N° 10 Relación de la clasificación de suelo de la sub-rasante y CBR

Estación	Clasificación AASHTO	CBR 95 %
0+000	A-1-b (0)	20
0+000	A-1-b (0)	35
0+100	A-1-b (0)	22
0+200	A-2-4 (0)	37
0+300	A-2-6 (0)	21
0+300	A-2-5(0)	20
0+400	A-1-a (0)	35
0+400	A-2-4 (0)	37
0+500	A-2-6 (0)	15
0+600	A-2-4 (0)	21
0+600	A-2-6 (0)	22
0+700	A-1-b (0)	22
0+700	A-2-6 (0)	23
0+800	A-2-6 (0)	22
0+800	A-2-7 (0)	12
0+900	A-2-6 (0)	20
1+000	A-1-b (0)	22
1+000	A-1-b (0)	23
1+100	A-2-4 (0)	20
1+100	A-1-b (0)	23
1+120	A-2-6 (0)	10
1+120	A-2-4 (0)	20

Fuente: Elaboración por sustentantes

Para determinar el valor del CBR de diseño se aplicó el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda valores que van de 60%, 75% y 87.5%. Para asumir un valor del rango antes mencionado se toma en cuenta el valor del ESAL que para el caso del presente diseño es de **259,873** por lo que se asumió un percentil de 75% tal y como se indica en la **Tabla N° 11**.

Tabla N° 11 Límites para la selección de resistencia CBR

Límites para selección de resistencia	
Número de ejes de 8.2 ton en el carril de diseño (n)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
< de 10,000 ESAL	60%
Entre 10,000 ESAL y 1,000,000 ESAL	75%
>1,000,000 ESAL	87.5%

Fuente: Ingeniería de pavimento para carreteras. Ing. Alonso Montejo Fonseca. Segunda edición 2001, pág. 68

En la **Tabla N° 12** se muestra las frecuencias de los valores de CBR utilizados para calcular el CBR de diseño.

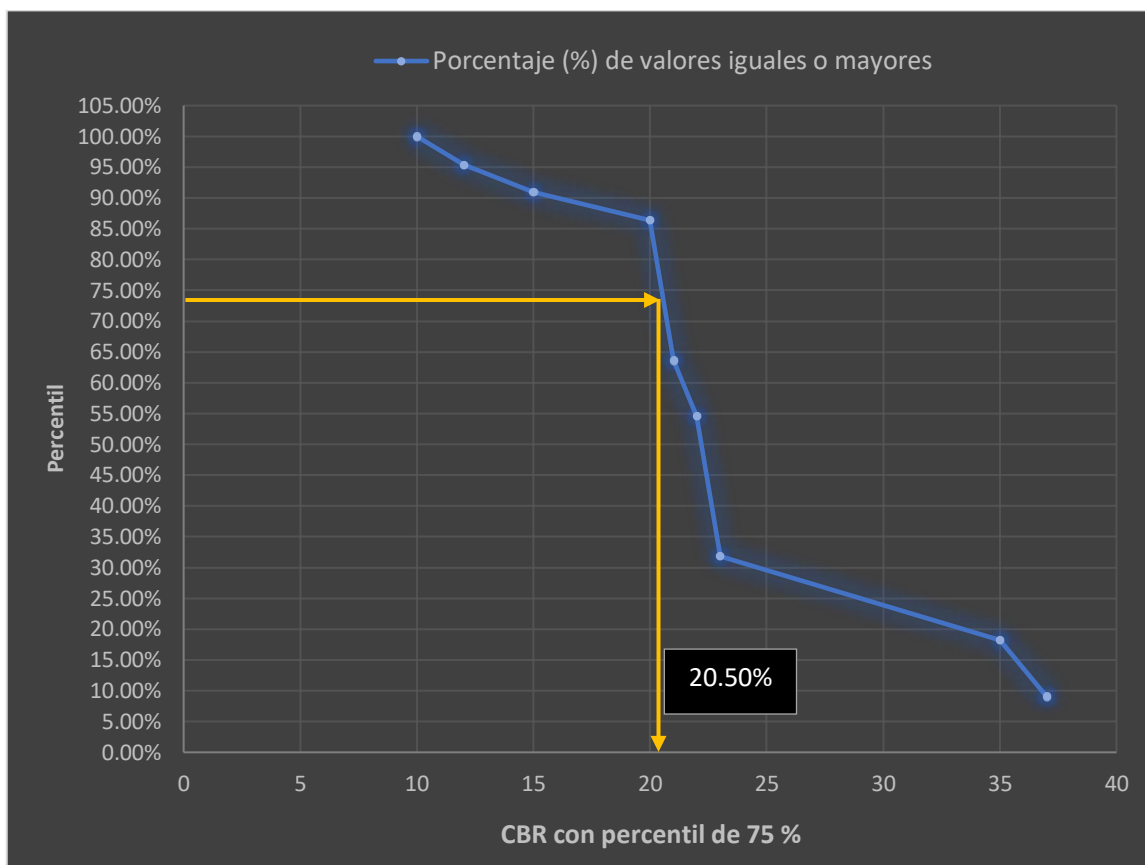
Tabla N° 12 Valores y porcentajes de CBR de la sub-rasante

CBR 95 %	Frecuencia	N° valores iguales o mayores	Porcentaje (%) de valores iguales o mayores
10	1	22	100%
12	1	21	95%
15	1	20	91%
20	5	19	86%
21	2	14	64%
22	5	12	55%
23	3	7	32%
35	2	4	18%
37	2	2	9%

Fuente: Elaboración por sustentantes

El valor de CBR de la sub-rasante es el más importante de definir, dado que a través de este se obtendrá el valor del Módulo de Resiliencia (M_R), el cual fue utilizado para el diseño. Con los valores CBR y percentiles graficados se determinó el percentil 75 % resultando en un CBR **20.50%** como se indica en la **Ilustración N° 8**.

Ilustración N° 8 Porcentajes de valores vs C.B.R



Fuente: Elaboración por sustentantes

De acuerdo con la clasificación de CBR de la **Tabla N° 13**, la sub-rasante clasifica como muy buena, la cual presenta características aceptables para material de sub-rasante.

Tabla N° 13 Clasificación del CBR de diseño

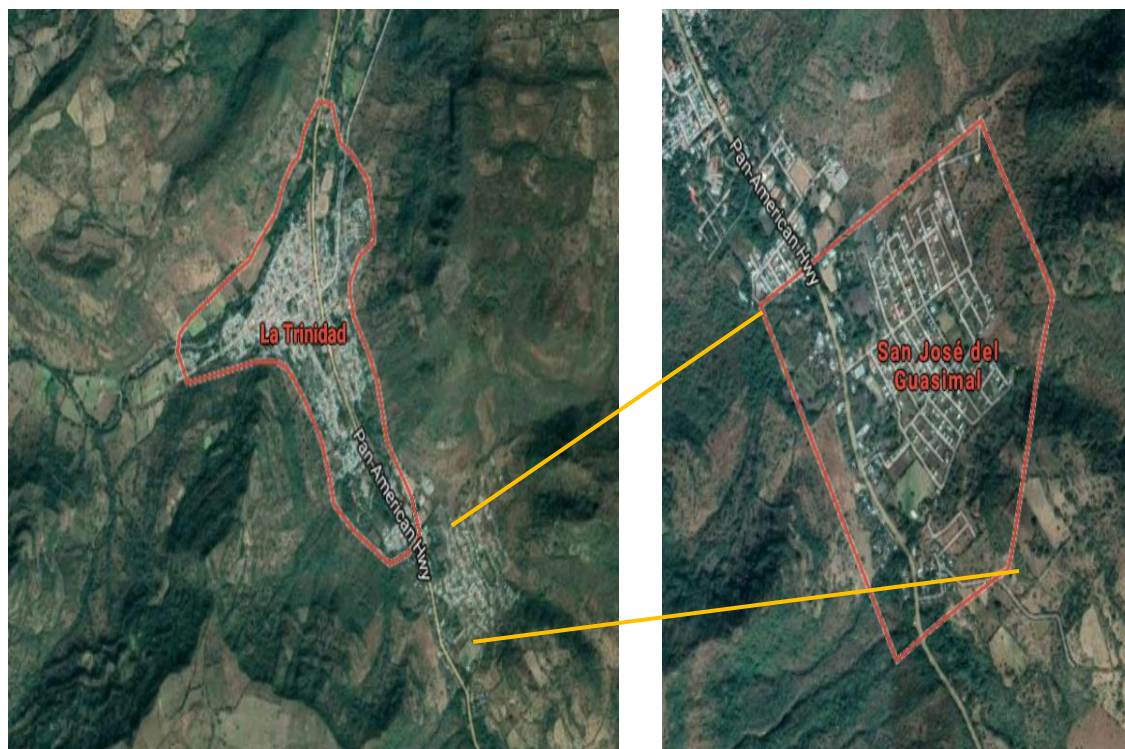
CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
0 – 5	Muy mala	Sub-rasante
5 – 10	Mala	Sub-rasante
10 – 20	Regular – buena	Sub-rasante
20 – 30	Muy buena	Sub-rasante
30 – 50	Buena	Sub-base
50 – 80	Buena	Base
80 – 100	Muy buena	Base

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones. Carlos Crespo, 5ta edición México

4.4.3 Resultado de ensayos de las fuentes de banco de préstamo

Para el banco de préstamo la Alcaldía de la Trinidad, facilitó los resultados del análisis de laboratorio del banco de préstamo San José del Guasimal que se encuentra ubicado en la salida sur del casco urbano del municipio de La Trinidad en el kilómetro 123 como se presenta en la **Ilustración N° 9**.

Ilustración N° 9 Macro y micro localización del banco de préstamo San José del Guasimal



Fuente: Google Maps

Los resultados del análisis del laboratorio del banco de préstamo San José del Guasimal que se presentan en la **Tabla N° 14**, mostraron un CBR con valor de **82%** prueba que se realizó con 95% de compactación y 4 días de saturación. Según Nic-2000 el valor de CBR encontrado es adecuado para base granular como se muestra en la **Tabla N° 15**.

Tabla N° 14 Resultado del análisis de suelo del banco de préstamo

Descripción general del Banco de Préstamo															
Nombre		Estación (Km)	Coordenadas UTM/GWS-84		Descripción del material		PVS MÁX	% Humedad (W) óptima		Valor de CBR (%)			Clasificación		
San José del Guasimal - La Trinidad		Km 123	X= 12° 58' 10"		Arena con limo y grava bien graduada, color café claro.		1624 kg/m	19%		90%	95%	100%	A-1-a (0)		
			Y= 86° 14' 12"							66	82	93			
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz													L.L	L.P	I.P
1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°100	N°200	%	%	%	
100	98	95	88	83	83	68	44	39	25	15	7	35	30	5	

Fuente: Facilitado por Alcaldía de La Trinidad

Tabla N° 15 Requerimientos mínimos para la capa base

Prueba	Requerimiento mínimo NIC-2000	Banco de préstamo	Valoración
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	48%	Cumple
Intemperismo Acelerado	Máx. 12%	12%	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 10%	5%	Cumple
CBR al 95% (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80%	82%	Cumple

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000

Asimismo, los resultados del análisis del banco de préstamo demostraron que el suelo es tipo **A-1-a** (0), que de acuerdo a la clasificación AASHTO 93, es un material granular excelente. Los resultados de la muestra que se presentan en la **Tabla N° 15** y se resumen en la **Tabla N° 16**, presentando los márgenes de graduación aceptables por la NIC-2000 y en la **Ilustración N° 10** se presenta la curva granulométrica.

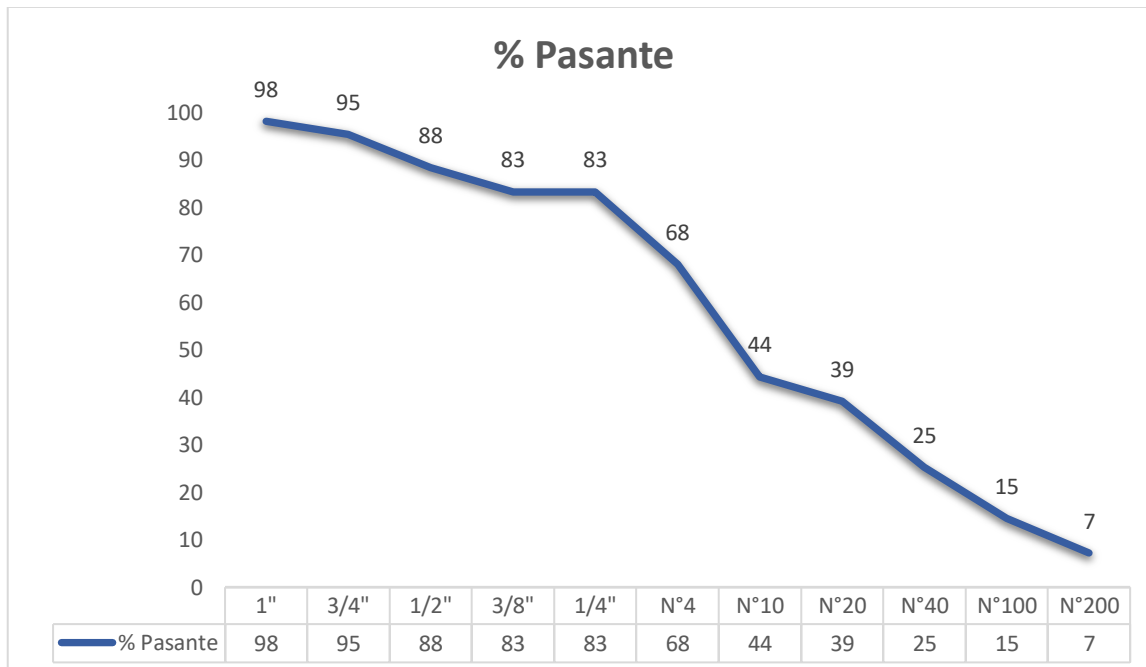
Por tanto, dado los resultados del CBR (**82%**) y la granulometría los cuales cumplen con la NIC-2000 se asumió el banco de préstamo San José del Guasimal como un material adecuado para base granular.

Tabla N° 16 Márgenes de valores de graduación aceptable para base según la NIC – 2000

Tamaño de tamiz	Material del banco de préstamo	C	D	E
Pulgadas	% que pasa	Base	Base	Base
1 1/2"	100	97-100(1)	100(1)	
1"	98		97-100(1)	100(1)
3/4"	95	67-81(6)		97-100(1)
1/2"	88			
3/8"	83		56-70(6)	67-79(6)
1/4"	83			
N°4	68	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)
N°10	44			
N°20	39			
N°40	25	10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)
N°100	15			
N°200	7	4-8(3)	4-8(3)	4-8(3)

Fuente: NIC – 2000, sección 1003, cuadro 1003-3

Ilustración N° 10 Curva granulométrica del banco de préstamo

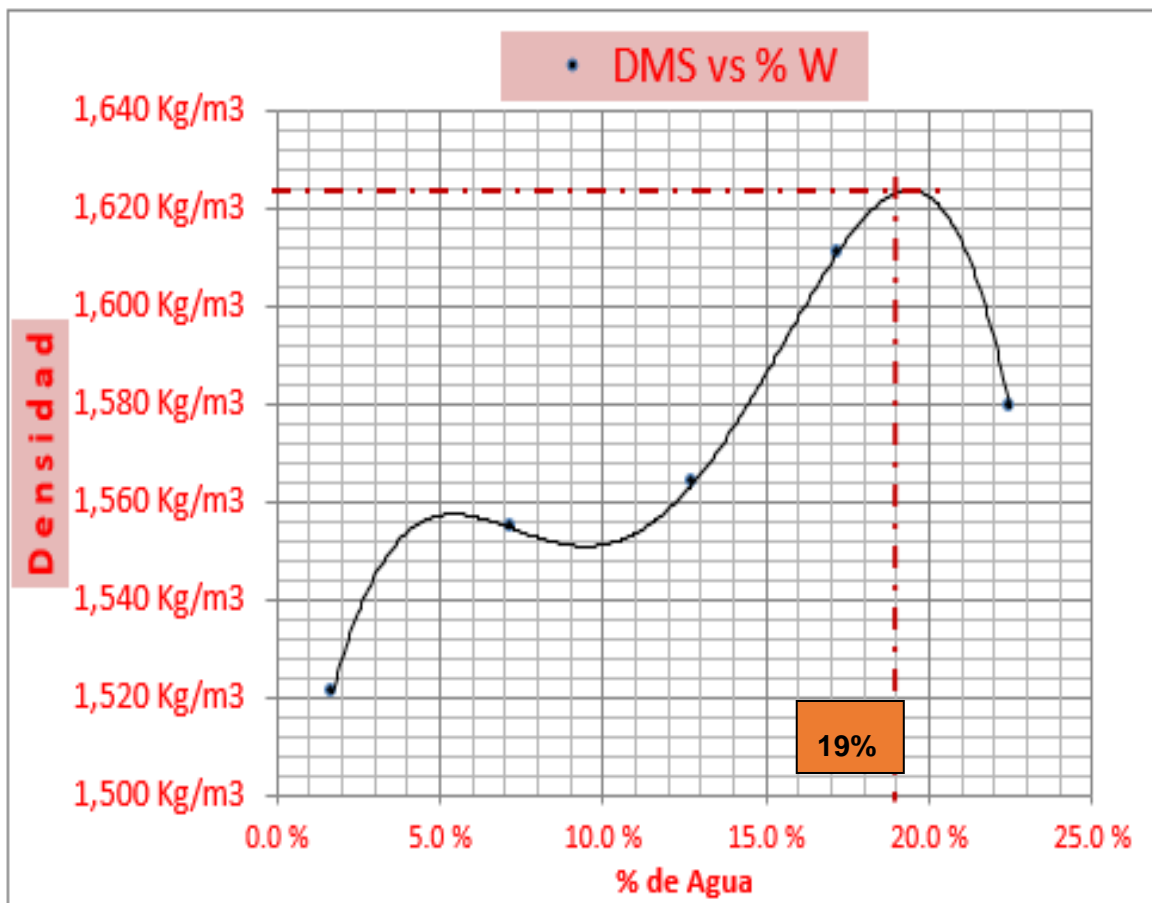


Fuente: Facilitado por Alcaldía de la Trinidad.

➤ Ensayo proctor estándar del banco de préstamo

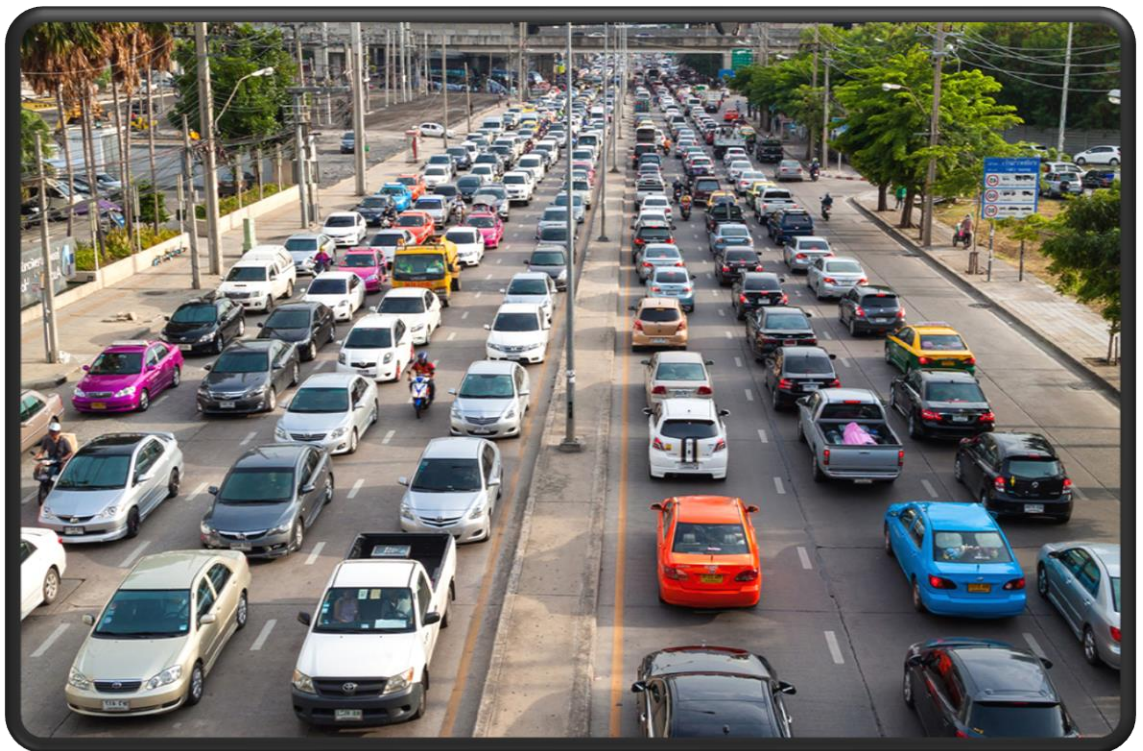
La humedad óptima puede observarse en el punto donde se intercepta la horizontal que corresponde a la densidad seca máxima con la curva de porcentajes de humedad obtenidos para las muestras. Utilizar el porcentaje de humedad óptima en la compactación es necesario para conseguir la compactación máxima, esto permite conseguir acercarse al concepto que se conoce como compactación perfecta que busca tratar de eliminar por completo la presencia de aire y vacíos del suelo garantizando el máximo peso específico y estabilidad. La humedad óptima obtenida en el ensayo de proctor estándar para la muestra representativa del banco de préstamo de San José del Guasimal es de 19% como se observa en la **Ilustración N° 11.**

Ilustración N° 11 Grafica densidad seca vs humedad optima



Fuente: Facilitado por Alcaldía de La Trinidad.

CAPÍTULO V ESTUDIO DE TRÁNSITO



5.1 Introducción

Tránsito, es una disciplina vinculante a la planificación de transporte y diseño vial que se ocupa de la caracterización del mismo, así como de la movilidad de personas y vehículos. El estudio de tránsito permite caracterizar los volúmenes de vehículos y su comportamiento, con el fin de determinar con criterios ingenieriles el tipo de obra vial a desarrollar con sus características geométricas y los elementos de estructura de rodamiento (Secretaría de Desarrollo Social - SEDESOL, 1994).

5.2 Generalidades

Existen varias técnicas para realizar el aforo vehicular entre las que se mencionan, conteo de cordón, que se aplica cuando se requiere información sobre la acumulación de vehículos dentro de un área urbana. También existe el conteo de línea de pantalla que es un estudio que se realiza dividiendo secciones en áreas de análisis, además se mencionan los conteos periódicos que se utilizan para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). Finalmente, los conteos en intersecciones que se realizan para determinar clasificaciones de vehículos, movimientos y giros (Universidad Mayor de San Simón - UMSS, 2004).

Según el Ministerio de Transporte e Infraestructura los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del tránsito promedio anual conocido en forma abreviada como TPDA que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado.

➤ Composición del tránsito

La clasificación vehicular en cada una de las estaciones de aforo comprendió a los vehículos livianos, vehículos pesados de pasajeros y los pesados de carga. Se clasifican de la siguiente manera:

➤ **Vehículos de pasajeros**

Incluye todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de pasajeros y algunos acondicionados para realizar tal actividad o función.

- **Motos:** Se consideraron todos los tipos de motocicletas incluyendo las acopladas con Side - Car.
- **Autos:** Se consideraron todos los tipos de automóviles de 4 puertas y de 2 puertas.
- **Jeep:** Conocidos también como vehículos automotor rústico, incluyeron toda la gama de Jeeps de diferentes marcas.
- **Camioneta:** Comúnmente determinadas como Pick Up (utilitario) y que sirven para el transporte de mercancía liviana. Se consideraron además aquellas camionetas que en el momento solo contaban con el conductor.
- **Microbús:** Se consideraron todos los tipos y marcas de microbuses con capacidades oscilante entre menos de 18 pasajeros y más de 18 pasajeros.
- **Autobús:** Tipificación que a su vez se dividió en mediano con una capacidad oscilante entre los 25 y los 42 pasajeros y grande con una capacidad superior a los 42 pasajeros.

➤ **Vehículos de carga**

Incluyó todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de mercancías livianas y pesadas tales como:

- **Camión sencillo:** Incluyó a los camiones de tipo C-2 (2 ejes) y del tipo C-3 (tres ejes).

5.3 Metodología

Esta etapa se procedió a determinar el número de vehículos clasificándolo por clase, esto se realizó mediante un aforo vehicular. Esta metodología toma en cuenta los vehículos que pasan por el punto de referencia previamente establecido, teniendo en cuenta 5 minutos como referencia temporal.

Los vehículos fueron aforados acordes a la estructura sugerida en los anuarios estadísticos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones para realizar el aforo vehicular:

- Ubicar el punto de referencia espacial el cual se ubicó al inicio del tramo carretero La Trinidad - San Francisco en el km 120.
- El conteo se realizó durante una semana (Lunes a Domingo) por doce horas.
- Se contó cada vehículo según su tipo al pasar por el punto de referencia predeterminado y se anotaron en un formato prediseñado.
- Los datos de campos se procesaron, determinando los siguientes parámetros.
 - Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).
 - Ejes equivalentes de carga (ESAL).
- Al final de esta actividad se realizó un informe donde se mostró el siguiente contenido:
 - Tabla de conteo vehicular Norte – Sur.
 - Tabla de conteo vehicular Sur – Norte.
 - Tabla del tráfico promedio diario Norte – Sur.
 - Tabla del tráfico promedio diario Sur – Norte.
 - Tabla de la tasa de diferencia.

Con los datos de campo se hicieron correlaciones con estaciones de conteo del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), asimismo se utilizaron datos de crecimiento Producto Interno Bruto (PIB) y datos de crecimiento poblacional (POB) para establecer las tasas de crecimiento del tráfico.

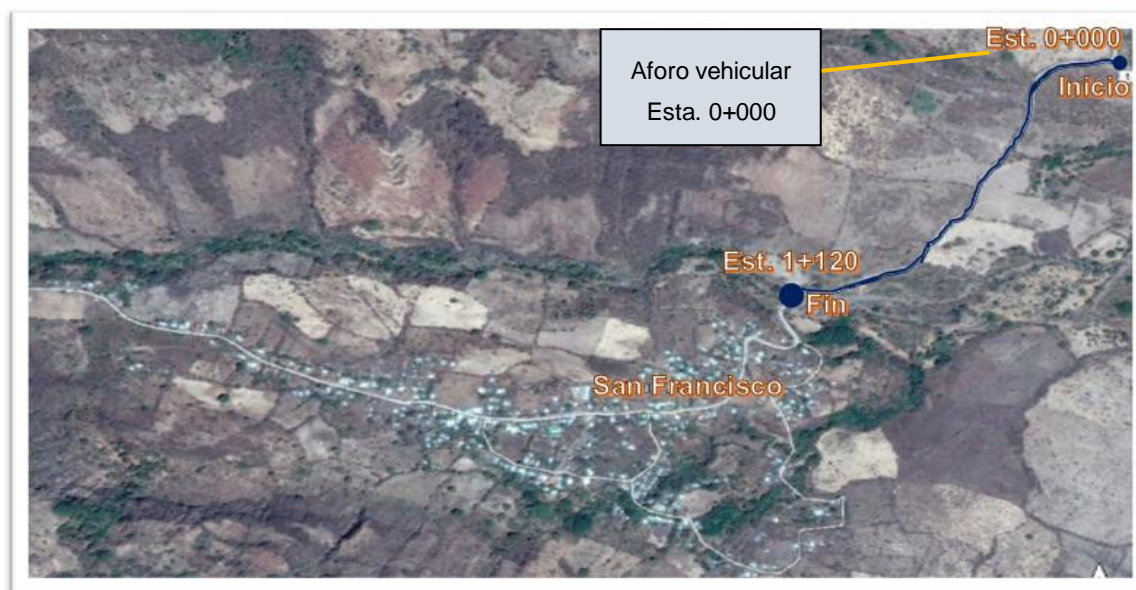
5.4 Resultado del aforo vehicular y la determinación del TPDA

En el estudio para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la determinación de ejes equivalentes de carga, se realizó lo siguiente:

5.4.1 Aforo vehicular

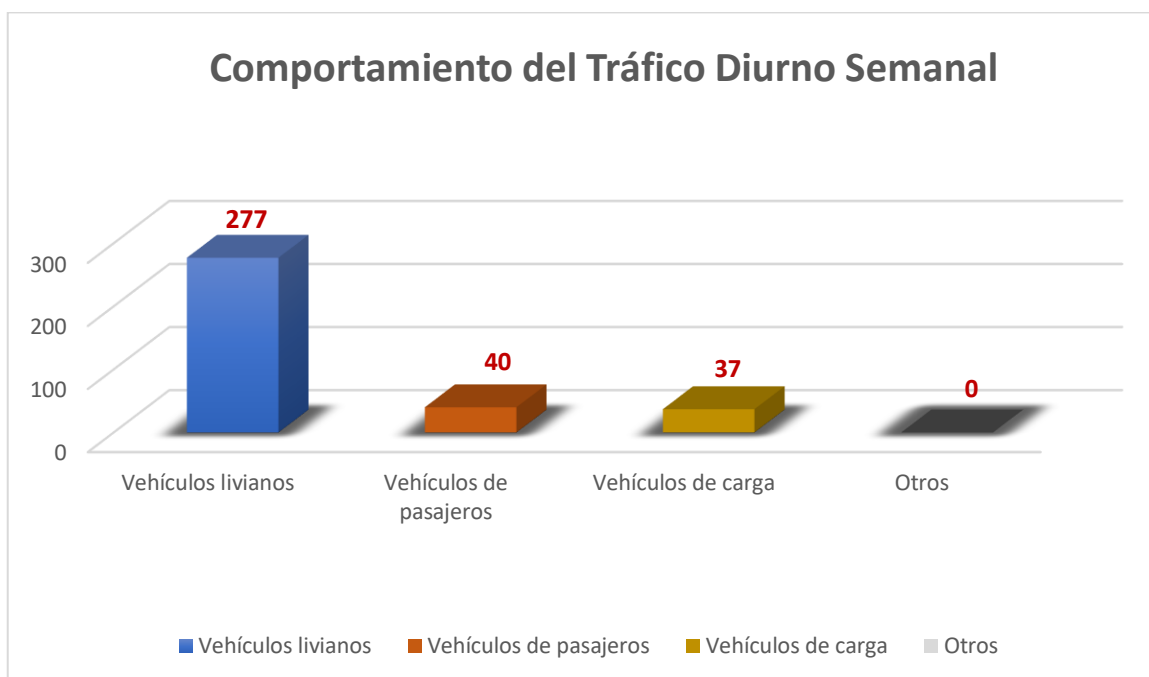
Para conocer la cantidad y composición vehicular que circula por la carretera empalme San Francisco - puente La Quebrada, se realizó un conteo vehicular durante siete días, del Lunes 10 a Domingo 16 de junio del año 2019. El conteo se realizó en la estación inicial 0+000 kilómetro 120 de la Carretera Panamericana como se muestra en la **Ilustración N° 12**, el volumen promedio total del tráfico durante el período de conteo fue de **293** vehículos, el comportamiento del tráfico por tipo se presenta en la **Ilustración N° 13**, donde se observa que el vehículo liviano fue el más frecuente, asimismo, el volumen por día se presenta en la **Ilustración N° 14**, donde se observa que el día de máximo tráfico es el día Miércoles y el de menor tráfico es el día Domingo, los demás días el tráfico tuvo variaciones intermedias entre el máximo y mínimo día. Los resultados detallados del conteo vehicular realizados durante 7 días se presentan en el **anexo D, Tabla N° 72, Pág. IX a X** y un resumen de la misma se presenta en la **Tabla N° 17**.

Ilustración N° 12 Ubicación del punto de conteo vehicular



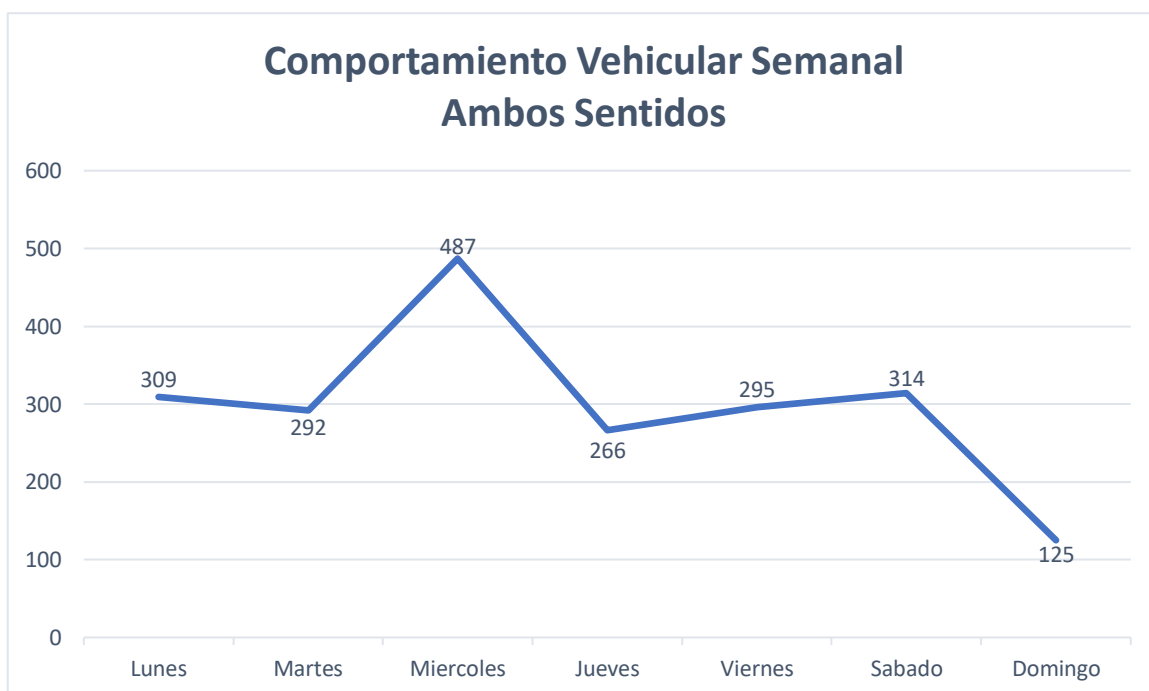
Fuente: Google Earth

Ilustración N° 13 Comportamiento de la composición del Tránsito Diurno Semanal



Fuente: Elaboración por sustentantes

Ilustración N° 14 Comportamiento del Tránsito Diurno Semanal



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 17 Resumen semanal y Tránsito Promedio Diurno TP(D)

Estudio de Tráfico Vehicular										
Aforo Volumétrico de Tráfico Diurno Semanal										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Lunes 10 al Domingo 16 de junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: Ambos sentidos				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	6	8	0	6	2	0	0	0	1	24
7:00am-8:00am	6	7	0	6	1	0	0	0	0	21
8:00am-9:00am	7	10	0	7	2	0	0	1	1	28
9:00am-10:00am	5	7	0	6	2	0	0	1	1	23
10:00am-11:00am	7	9	1	7	2	0	0	1	1	28
11:00am-12:00pm	5	9	0	7	2	0	0	1	1	25
12:00pm-1:00pm	6	9	0	6	2	0	0	1	1	26
1:00pm-2:00pm	6	9	0	7	1	0	0	0	1	25
2:00pm-3:00pm	4	2	0	1	0	0	0	0	0	8
3:00pm-4:00pm	5	7	0	6	2	0	0	1	1	22
4:00pm-5:00pm	9	12	1	9	3	0	0	1	1	35
5:00pm-6:00pm	7	9	0	7	2	0	0	1	1	29
Total, TP(D)	75	97	4	75	22	2	1	9	8	293

Fuente: Elaboración por sustentantes

5.4.2 Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Partiendo de los datos del aforo vehicular realizado en período de una semana se aplicaron los factores del MTI, mostrado en la **Tabla N° 20** donde se encuentran: factor día (F_d) y factor expansión (F_e) tomados del anuario de aforo de tráfico 2017. Para realizar lo anterior se ubicó el vector de correspondencia geográfica (R3), el código CN y región pacífico norte departamento de Estelí que se muestra en la **Tabla N° 18**, posteriormente en la **Tabla N° 19**, se identificó la dependencia de estaciones localizando la estación mayor que corresponde al número 200 entrada al INCAE - El Crucero, de donde se obtuvo la NIC-1, estación 108 empalme San Isidro – La Trinidad. Asimismo, se aplicó la ecuación (28) cuyos resultados se presentan en el **Tabla N° 21**. Según la mencionada tabla, el Tráfico Promedio Diario Anual encontrado fue de **474** vehículos.

$$TPDA = TP(D)_{(12 \text{ horas})} * F_d * F_e \quad \text{Ecuación (28)}$$

Donde:

TP(D): Tráfico Promedio Diurno

F_d : Factor día

F_e : Factor expansión

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

Para encontrar el TPDA final se realizó la suma del TPDA (normal), tráfico generado (TG) y el tráfico desarrollado (TD) al cual se le asignan tasas de 5% al 25% para el tráfico generado y del 5% para tráfico desarrollado (Cal, Reyes Spíndola, & Cárdenas Grisales, 1994).

Tomando en consideración los criterios antes mencionados y las características de la vía la cual se clasificó como una colectora rural con poco flujo vehicular de acuerdo a las normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, se asumió un valor del 15% para el tráfico generado y un valor del 5% para el tráfico desarrollado.

Tabla N° 18 Vectores de correspondencia geográfica

Vector	Código	Nombre de Región	Departamento
R1	PS	Pacífico Sur	Masaya, Granada Carazo, Rivas
R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
R3	CN	Pacífico Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
R4	AS	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
R5	AN	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACN)

Fuente: Anuario de tráfico 2017

Tabla N° 19 Dependencia de estaciones (estación 200 entrada al INCAE – El crucero)

Estación de mayor cobertura	NIC	N° Estación	TIPO	Pkm	Nombre del tramo
200 entrada al INCAE - El Crucero	NIC-1	108	ECD	119.5	Emp. San Isidro - La Trinidad
	NIC-1	112	ECD	207.4	Emp. Yalagüina – Somoto
	NIC-28	215	ECD	10	Hotel Nejapa - Km. 10 1/2 Carretera Sur (ida)
	NIC-2	209	ECD	12	Km. 10 1/2 Carretera Sur - Entrada al INCAE
	NIC-2	202	ECD	27	El Crucero - Cuatro Esquinas
	NIC-2	203	ECD	28	Cuatro Esquinas – Diriamba
	NIC-2	204	ECD	42.9	Diriamba – Jinotepe
	NIC4	404	ECD	48.8	Granada - Emp. Guanacaste

Fuente: Anuario de aforo de tráfico MTI, año 2017

Tabla N° 20 Factores del segundo cuatrimestre del mes de Mayo – Agosto, estación 200 de mayor cobertura entrada al INCAE – El Crucero.

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2
Factor Día ➡	1.31	1.39	1.29	1.31	1.24	1.25	1.22	1.27	1.25
Factor Semana	0.96	0.99	1.01	0.96	0.95	0.90	1.02	0.90	0.86
Factor Fin de Semana	1.12	1.04	0.98	1.11	1.16	1.41	0.96	1.40	1.71
Factor Expansión a TPDA ➡	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	0.95	1.02	1.03	1.01

Fuente: Anuario de aforo de tráfico año 2017

Tabla N° 21 Tráfico Promedio Diario Anual, aplicando los factores de ajuste del MTI para el año 2017

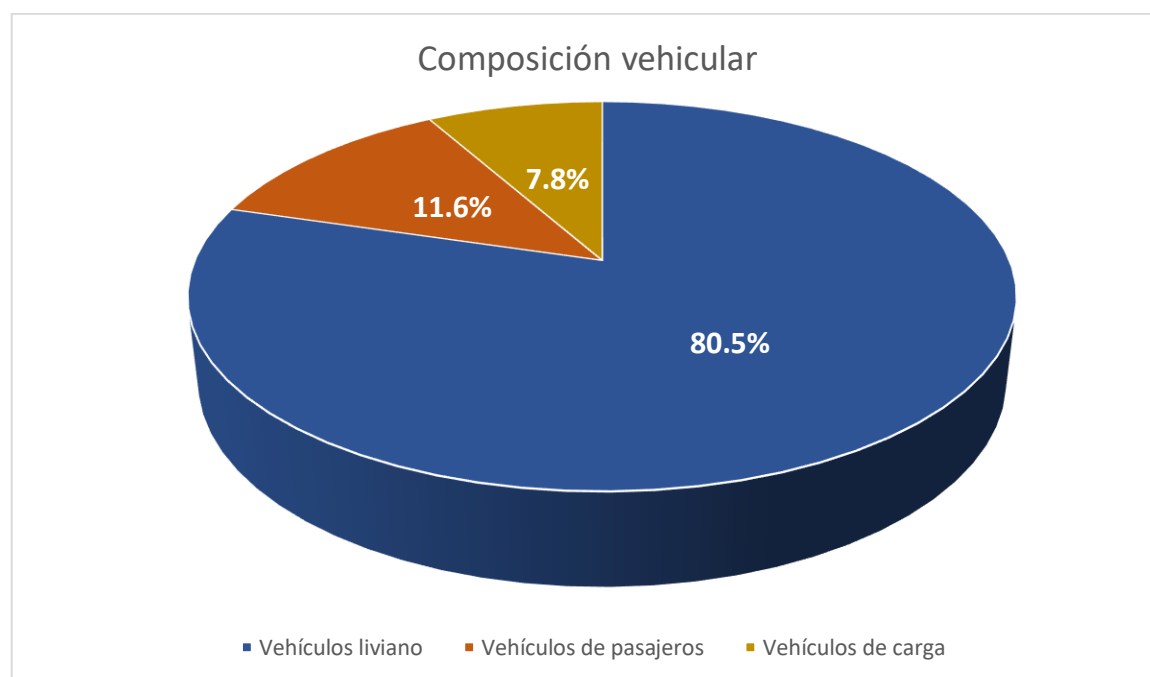
Estudio de Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) Conteo Volumétrico de Tráfico										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Lunes 10 al Domingo 16 de junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: Ambos sentidos				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
Total, TP(D)	75	97	4	75	22	2	1	9	8	293
FACTOR DIA	1.31	1.39	1.29	1.31	1.24	1.25	1.22	1.27	1.25	12
FACTOR EXPANSIÓN	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	0.95	1.02	1.03	1.01	9
TRAFICO NORMAL	99	135	6	99	28	3	2	12	11	395
TRÁFICO DESARROLLADO	5	7	0	5	1	0	0	1	1	20
TRAFICO GENERADO	15	20	1	15	4	0	0	2	2	59
TPDA FINAL	114	156	7	114	33	4	3	14	13	474
		277			40			27		
		80.5%			11.6%			7.8%		100.00%
		Vehículos Livianos			Vehículos de Pasajeros			Vehículos de Carga o Pesados		

Fuente: Elaboración por sustentantes

5.4.3 Composición vehicular

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra, la cual está conformada de la siguiente manera obteniendo una composición vehicular de: vehículos livianos **80.5%**, vehículos de pasajeros **11.6%** y vehículos de carga **7.8%** obteniendo así un porcentaje de tráfico vehicular total de **100%** como se muestra en la **Ilustración N° 15**.

Ilustración N° 15 Composición de Transito Promedio Diario Anual



Fuente: Elaboración por sustentantes

5.4.4 Determinación de tasas de crecimiento estación 108 del anuario del MTI año 2017.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en el mes de Julio del año 2019 presentó el anuario 2018, no obstante, en el mencionado documento no se presentan datos del TPDA año 2018 de la estación 108 empalme San Isidro – La Trinidad, siendo esta la estación más cercana a la zona de estudio. Por tal razón para el análisis se consideraron los datos del anuario 2017, el cual presenta los datos de TPDA del año 2017 de la estación 108. No obstante, la mencionada estación que registra una serie de tiempo desde el año 2008 al 2017, carece de

información en los años 2009, 2011, 2013 y 2014 como se indica en la **Tabla N° 22**.

A continuación, se presentan los resultados de las tasas de crecimiento basado en datos del anuario del MTI 2017, así como datos de la Población (POB) y Producto Interno Bruto (PIB) de los años 2008 al 2017 publicados en el informe del Banco Central de Nicaragua (Banco Central de Nicaragua - BCN, 2018).

Para la determinación de la tasa de crecimiento de vehículo en general, se tomó en cuenta la serie de tiempo de la estación 108 empalme San Isidro – La Trinidad tomado del anuario del MTI año 2017, como se indica en la **Tabla N° 22**.

Tabla N° 22 Registro de la estación 108 Empalme San Isidro - La Trinidad publicado en el Anuario de aforo vehicular 2017

Estación: 108	
Tramo: Emp.San Isidro - La Trinidad	
Año	TPDA
2008	3586
2009	-
2010	3597
2011	-
2012	4072
2013	-
2014	-
2015	4832
2016	5105
2017	4261
TC	4.51%

Fuente: Anuario de aforo de tráfico del MTI, año 2017

De la serie anterior (**Tabla N° 22**) se tomaron los datos del año 2008 y el 2016, no se tomó en cuenta el año 2017 debido a la inconsistencia del dato cuyo valor fue inferior al año 2016 que no corresponde a un crecimiento con la tendencia que presenta la serie. Por tanto, con los datos 2008 - 2016 se calculó la tasa de crecimiento de vehículo liviano empleando la ecuación (29), dando como resultado una tasa de crecimiento de **4.51%** como se indica en la **Tabla N° 22**.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1$$

Ecuación (29)

Donde

TC= Tasas de crecimiento

TPDA_i= Tráfico promedio diario actual.

TPDA₀ = Tráfico promedio diario actual del año base

n = Diferencia de años.

Tasa de crecimiento de vehículos liviano: Utilizando datos históricos de TPDA para todos los vehículos de la estación 108 (Tramo: Emp.San Isidro - La Trinidad) de los últimos 8 años disponibles en anuarios estadísticos.

$$TC = \left[\left(\frac{5105}{3586} \right)^{1/8} \right] - 1$$

TC= 4.51 %

Para obtener la tasa de crecimiento de vehículos de pasajeros fue necesario conocer la tasa de crecimiento poblacional (POB), lo cual se obtuvo del informe del Banco Central de Nicaragua año 2018, con los datos de serie de tiempo del año 2008 al año 2016 a partir de los cuales se estimó la tasa de crecimiento aplicando la ecuación (29) como se muestra en la **Tabla N° 23**.

Tabla N° 23 Crecimiento poblacional de Nicaragua del año 2008 al 2017

Año	TPDA	POB
2008	3586	5,778.8
2009	*	-
2010	3597	5,923.1
2011	*	-
2012	4072	6,071.0
2013	*	-
2014	*	-
2015	4832	6,262.7
2016	5105	6,327.9
2017	4261	6,393.8
TC		1.14%
Correlación lineal		0.36%
Correlación logarítmica (Ln)		0.26%
<p>*: datos que no existen o faltante en la serie del año 2008 al 2017.</p> <p>:- Datos de la población que no se consideraron en el análisis de correlación.</p>		

Fuente: Anuario de aforo de tráfico del MTI, año 2017

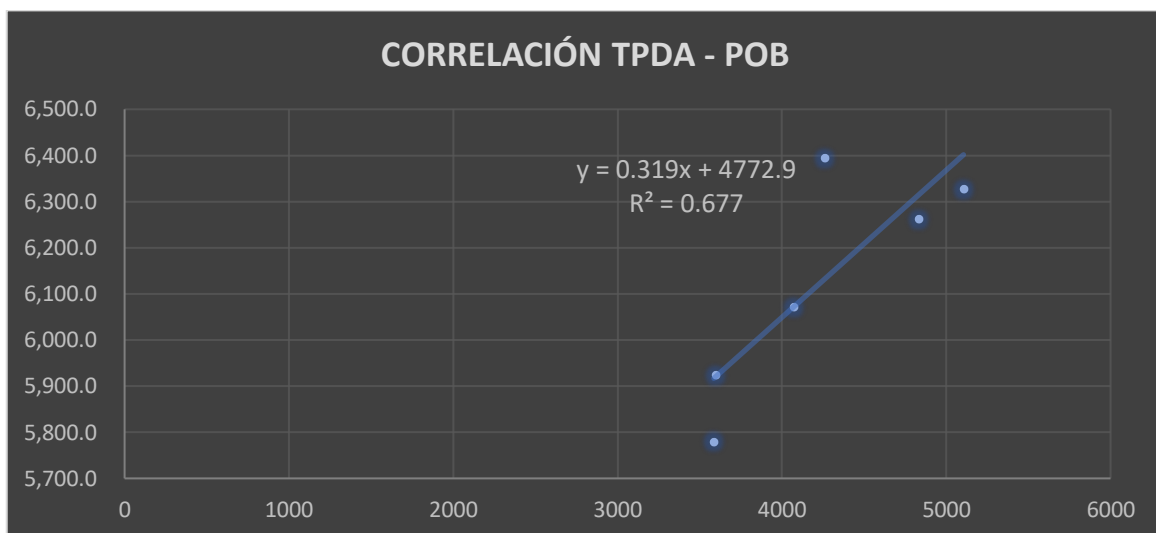
Tasa de crecimiento Vehículos de Pasajeros: utilizando datos históricos de Población (POB) de los últimos 8 años.

$$TC = \left[\left(\frac{6327.9}{5778.8} \right)^{1/8} \right] - 1$$

$$TC = 1.14\%$$

Para la estimación definitiva de la tasa de crecimiento de vehículos de pasajeros se realizó una correlación lineal con los datos de la Población (POB) y el TPDA de la estación 108 obteniéndose una elasticidad $Y = 0.319$ con un coeficiente correlación de $R^2 = 0.677$ como se indica en la **Ilustración N° 16**. Al aplicar la elasticidad a la tasa de crecimiento poblacional, se obtuvo una tasa de crecimiento para el transporte de pasajeros de **0.36%** como se muestra en la **Tabla N° 23**, resultado que no fue consistente con el crecimiento real debido al bajo valor de la elasticidad y aun coeficiente de correlación inferior a 0.90.

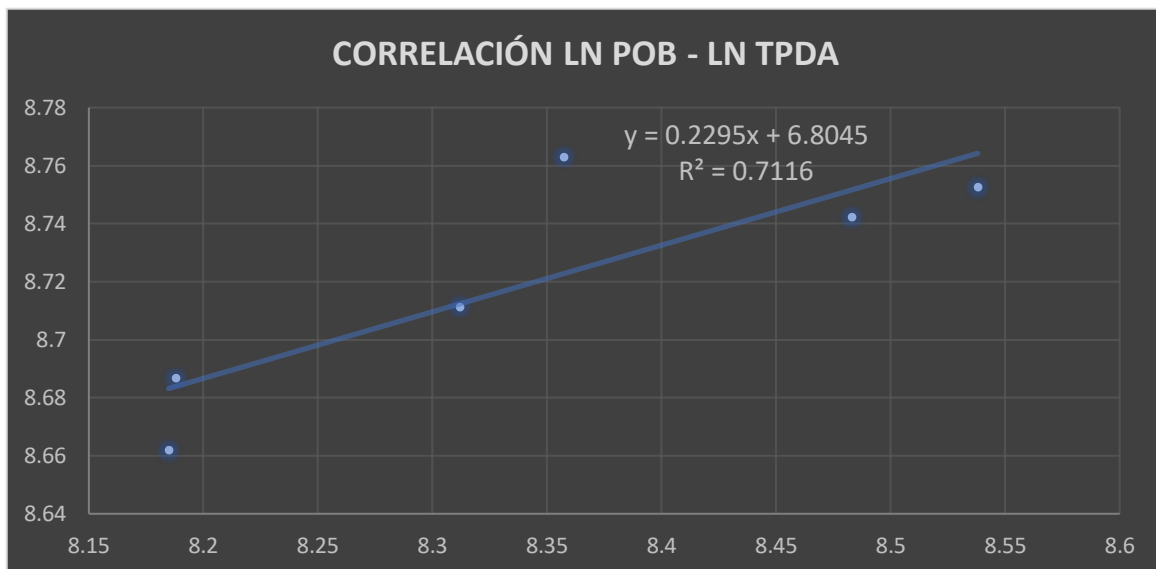
Ilustración N° 16 Correlación entre TPDA y POB de la estación 107



Fuente: Elaboración por sustentantes

Para mejorar el ajuste de los datos tanto de las series de tiempo poblacional (POB) y del TPDA se realizó una correlación logarítmica (Ln) con lo que se obtuvo una elasticidad $Y = 0.2295$ y un coeficiente de correlación $R^2 = 0.7116$ como se muestra en la **Ilustración N° 17**. Como puede observarse los resultados fueron muy similares a los resultados de la correlación lineal descrita anteriormente, siendo estos datos inconsistentes al crecimiento real observados en años anteriores.

Ilustración N° 17 Correlación entre Ln POB y Ln TPDA de la estación 107



Fuente: Elaboración por sustentantes

Para determinar la tasa de crecimiento de vehículo de carga, se tomó en consideración el Producto Interno Bruto anual (PIB), proporcionado por el Banco Central de Nicaragua (BCN), cuyos datos de series de tiempo se presentan en la **Tabla N° 24**.

Tabla N° 24 Producto Interno Bruto Anual de Nicaragua (PIB)

Año	TPDA	PIB
2008	3586	8,497.0
2009	*	-
2010	3597	8,758.6
2011	*	-
2012	4072	10,532.5
2013	*	-
2014	*	-
2015	4832	12,756.7
2016	5105	13,286.0
2017	4261	13,843.7
TC		5.75%
Correlación lineal		18.19%
Correlación logarítmica (Ln)		7.37%
*: datos que no existen o faltante en la serie del año 2008 al 2017.		
-: Datos de la población que no se consideraron en el análisis de correlación.		

Fuente: Elaboración por sustentantes

Con la serie del Banco Central de Nicaragua (BCN), se calculó la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) aplicando la ecuación (29) cuyo resultado fue de **5.75%** como se mostró en la **Tabla N° 24**.

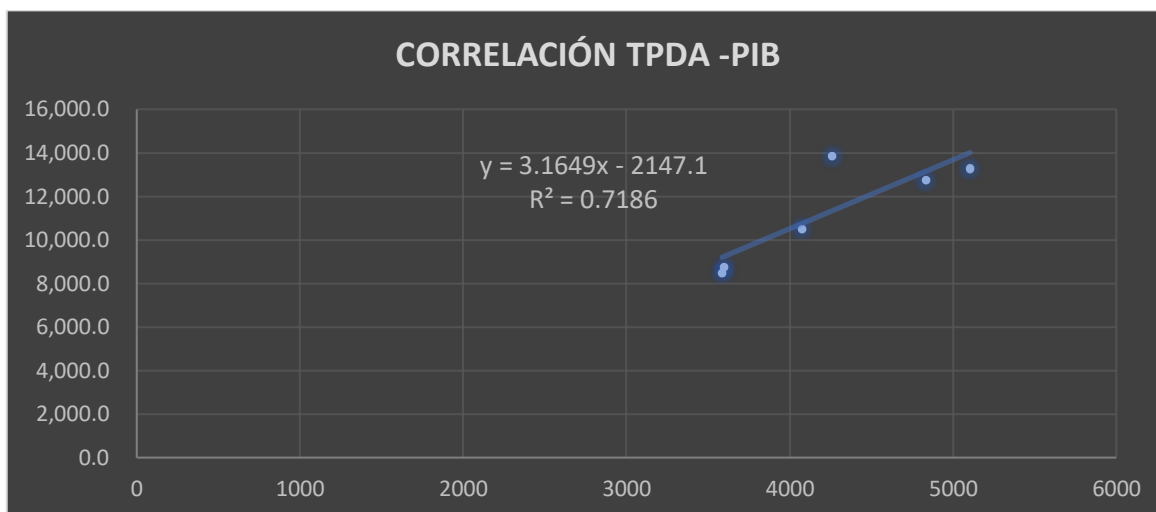
Tasa de crecimiento Vehículos de Carga: utilizando datos históricos de PIB de los últimos 8 años.

$$TC = \left[\left(\frac{13286.0}{8497.0} \right)^{1/8} \right] - 1$$

TC= 5.75 %

Para determinar la tasa de crecimiento de transporte de carga se realizó una correlación lineal entre PIB y TPDA, cuyo resultado se presenta en la **Ilustración N° 18**.

Ilustración N° 18 Correlación lineal entre PIB y TPDA

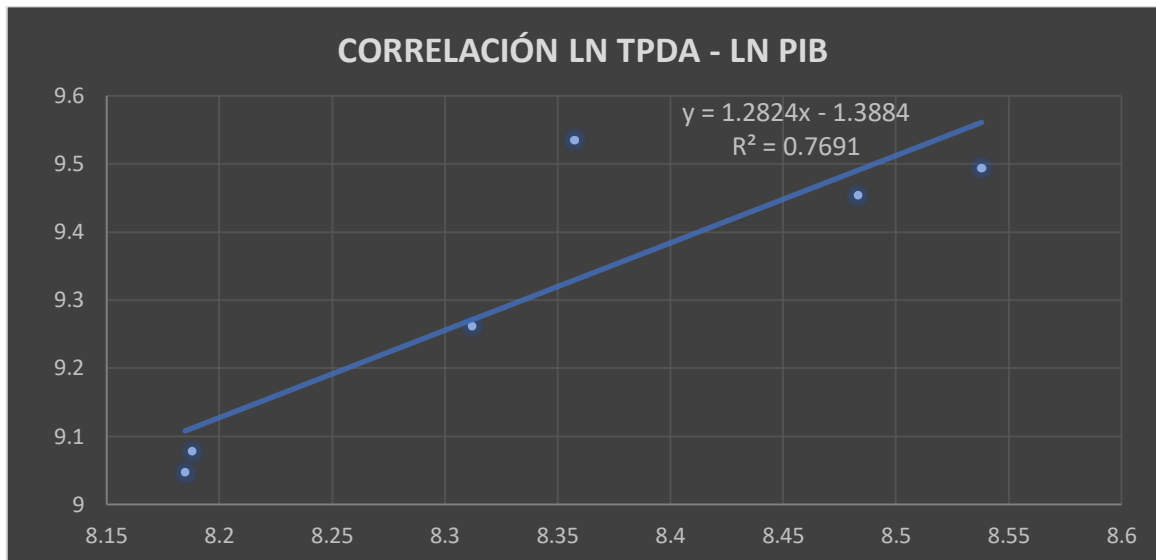


Fuente: Elaboración por sustentantes

Se encontró una elasticidad $Y=$ de 3.1649 y un coeficiente de correlación $R^2=0.7186$ que, al aplicarla a la tasa de crecimiento del PIB, dio una tasa de crecimiento de **18.19%** como se muestra en la **Tabla N° 24**, resultado inconsistente con relación a la tasa de crecimiento de períodos anteriores.

Para mejorar el ajuste de los datos, se realizó una correlación logarítmica (Ln) lográndose un coeficiente de correlación $R^2=0.7691$ con una elasticidad $Y=1.2824$ como se muestra en la **Ilustración N° 19**. Al aplicar la elasticidad a la tasa de crecimiento del PIB, se obtuvo una tasa de crecimiento para vehículo de carga de **7.37%** como se muestra en la **Tabla N° 24**, resultado que no guarda consistencia con la tasa de crecimiento de períodos anteriores.

Ilustración N° 19 Correlación entre PIB y TPDA



Fuente: Elaboración por sustentantes

De acuerdo a los resultados del crecimiento vehicular, se encontró que los vehículos livianos tienen una tasa de crecimiento **4.51%**, los vehículos de pasajeros mostraron una tasa de crecimiento de **0.36%** y los vehículos de cargas mostraron una tasa de crecimiento de **7.23%**.

Como puede observarse en el párrafo anterior la tasa de crecimiento de vehículo de pasajeros muestra un valor muy bajo lo que indica una inconsistencia del resultado con relación al crecimiento histórico, asimismo la tasa de crecimiento de carga fue demasiada alta lo que también indica inconsistencia con relación a la tasa de crecimiento histórica, por lo que se asume una tasa de crecimiento vehicular del **4.51%** lo que corresponde al crecimiento basado en el TPDA, de los años 2008 al 2016.

5.4.5 Período de diseño (N)

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo a la ubicación geográfica del tramo y al volumen actual de tránsito que circula por ella, se asumió **15 años** como se muestra en la **Tabla N° 25** para el período de diseño, debido a que el tramo tiene una clasificación funcional como una colectora rural.

Tabla N° 25 Período de diseño (N)

Tipo de carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 – 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	15 – 30
Colectoras Sub-Urbanas	10 – 20
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004

5.4.6 Factor de crecimiento (Fc)

El factor de crecimiento es una medida que muestra como aumentará el flujo vehicular conforme pasa el tiempo. Para calcular el factor de crecimiento se utilizó la ecuación (30).

$$FC = \frac{(1 + r)^p - 1}{r} \quad \text{Ecuación (30)}$$

Donde:

F_c= Factor de crecimiento.

r= Tasa de crecimiento considerada.

P= Período de diseño considerado.

Al aplicar la ecuación (30) utilizando la tasa de crecimiento vehicular **4.51%** previamente calculado con la ecuación (29) y descrita en la **Tabla N° 22** se obtuvo un factor de crecimiento de **20.80%** como se muestra a continuación.

$$FC = \frac{(1 + 0.0451)^{15} - 1}{0.0451}$$

$$FC = 20.80\%$$

5.4.7 Tránsito de diseño

El tránsito de diseño es el valor acumulado de la cantidad de vehículos que circularan en la vía durante la vida de diseño a la cual fue proyectada, para determinarla se utilizó la ecuación (31), los resultados se presentan en la **Tabla N° 26**.

Una vez conocido el tránsito de diseño, se procedió a realizar el cálculo de ESAL del carril de diseño.

$$TD = TPDA \cdot f_c \cdot f_d \cdot f_{Dc} \cdot 365$$

Ecuación (31)

Donde:

TD: Tránsito de diseño

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

Fc: Factor de crecimiento.

Fd: Factor de distribución por dirección.

FDc: Factor por distribución por carril.

Tabla N° 26 Transito de diseño para los diferentes tipos de vehículos

Tránsito de diseño						
Tipo de vehículo	Cantidad de vehículos diario	(Fc)	(Fd)	Días del año	(FDc)	Tránsito de diseño
Autos	156	20.80	0.5	365	1	592,176
Jeep	7	20.80	0.5	365	1	26,572
Camionetas	114	20.80	0.5	365	1	432,744
Mc bus < 15 Pasajeros	33	20.80	0.5	365	1	125,268
Liv. 2 - 5 t.	14	20.80	0.5	365	1	53,144
C2 5+t.	13	20.80	0.5	365	1	49,348
Total	337					1,279,252
Fc: Factor de crecimiento, Fd: Factor de distribución por dirección FDc: Factor de distribución por carril						

Fuente: Elaboración por sustentantes

A continuación, se describen los factores del tránsito de diseño los cuales son: el factor distribución por dirección (F_d), factor distribución por carril (F_{Dc}) y factor de crecimiento (F_c), este último fue descrito anteriormente.

5.4.8 Factor distribución por dirección (F_d)

Para el factor direccional se asumió 0.5 que corresponde a dos carriles según la norma AASHTO 93, el cual se corresponde con la característica de la vía San Francisco – puente La Quebrada, vía por la cual se circula en dos direcciones como se indica en la **Tabla N° 27**.

Tabla N° 27 Factores de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD^{10}
2	0.5
4	0.45
6 ó más	0.4

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1,993

5.4.9 Factor de distribución por carril (F_{Dc})

Para el factor carril se asumió el valor de 1, basado en la **Tabla N° 28**, de la norma AASHTO 93. El valor antes mencionado corresponde al diseño de una carretera colectora rural de un solo carril.

Tabla N° 28 Factores de distribución por carriles

Número de carriles en una sola dirección	LC^{11}
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4 o mas	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993.

5.4.10 Factor de equivalencia de carga por ejes (FESAL)

Los factores de equivalencia de carga por ejes (FESAL), se obtuvieron de la norma AASHTO 93, en la cual se presentaron valores para ejes sencillos (**ver anexo D, Tabla N° 81, pág. XVIII**).

Debido a las características de la vía clasificada como una colectora rural, se seleccionaron los valores de los factores de ejes equivalentes de carga (FESAL) tomando en consideración un índice Serviciabilidad final $P_t=2.0$ según la **Tabla N° 35**, asimismo, se asumió un número estructural $SN=4$, ambos recomendados para vías colectoras rurales y pavimentos semi rígido (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

Cuando los factores de equivalencia de cargas en los ejes no se encuentran en el diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo (**ver anexo D, Tabla N° 81 y 82, pág. XVIII, XIX**), se procede a la Interpolación como se muestra en la **Tabla N° 29 y 30**, utilizando la ecuación (32).

$$y_x = y^0 \frac{x-x^0}{x^1-x^0} (y^1 - y^0) \quad \text{Ecuación (32)}$$

A continuación, se presentan en la **Tabla N° 30** los valores de peso por eje que se interpolaron utilizando la ecuación (32), el valor 22 Kips no fue interpolado debido a que se encontró en la tabla de factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles (**ver anexo D, Tabla N° 80, pág. XVII**)

Tabla N° 29 Factores de ejes Kips a Interpolar

Valores a interpolar	
Utilizando la Tabla N° 81 Factores de Equivalencia de carga	Ejes sencillos
	2.2
	4.4
	8.8
	11

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 30 Interpolación Lineal (2.2 Kips, 4.4 Kips, 8.8 Kips y 11Kips)

Eje simple= 2.2 Kips		Eje simple= 4.4 Kips		Eje simple= 8.8 Kips		Eje simple= 11 Kips	
Kip	SN=4	Kip	SN=4	Kip	SN=4	Kip	SN=4
2	0.0002	4	0.002	8	0.033	10	0.085
2.2	x	4.4	x	8.8	X	11	x
4	0.002	6	0.01	10	0.085	12	0.183
x=	0.00038	x=	0.0036	x=	0.0538	x=	0.134

Fuente: Elaboración por sustentantes

5.5 Ejes equivalentes (ESAL o W18)

En el método AASHTO 93, los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos del cálculo, se los transforma un número equivalente de ejes tipo de 80 KN, 18 KN o 18 Kips, los cuales se les denomina “equivalent simple axial load” o ESAL.

Este se obtiene conociendo el tránsito de diseño (TD) y los factores de equivalencia de carga por eje (FESAL) se calcula utilizando la Ecuación (33):

$$\text{ESAL o } W_{18} = \text{TD} * \text{FESAL}$$

Ecuación (33)

Donde:

ESAL o W_{18} : Ejes equivalentes

TD: Tránsito de diseño

FESAL: Factor de equivalencia de carga por eje

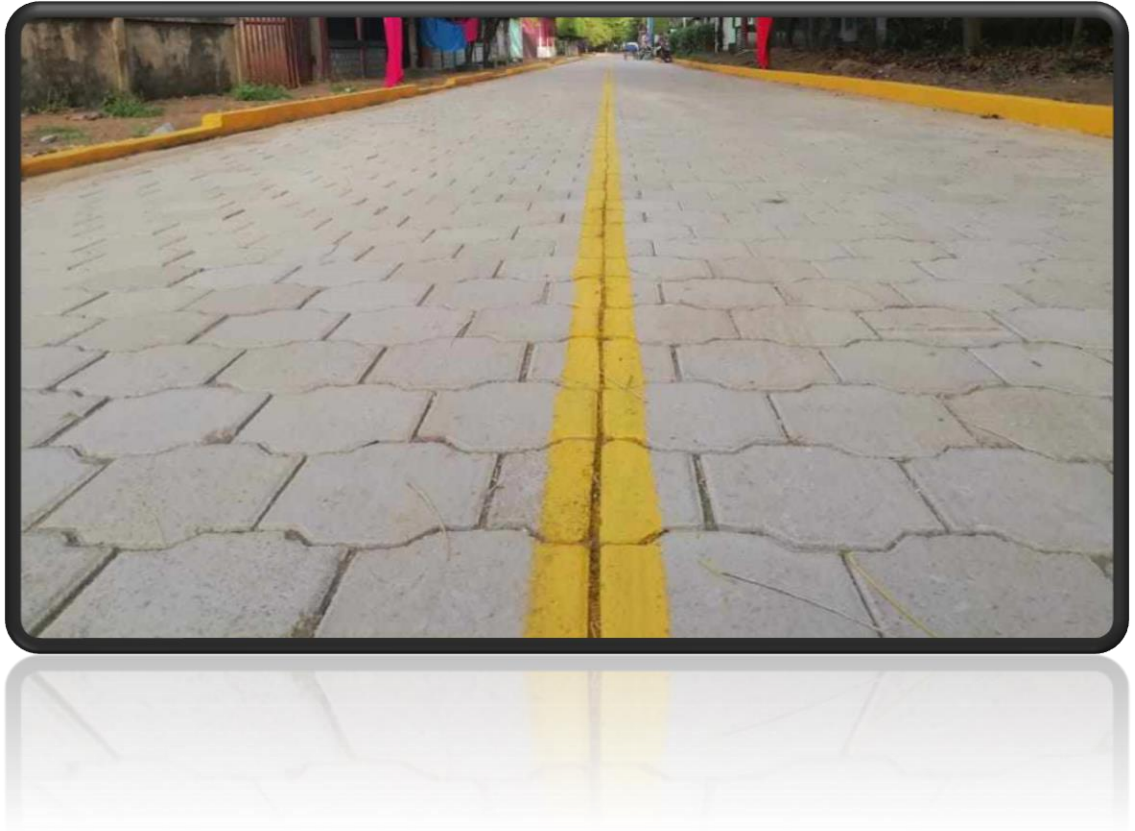
Conocido los valores del tránsito de diseño (TD) por tipo de vehículo cuyos resultados se presentaron anteriormente en la **Tabla N° 26**, se procedió a calcular el ESAL del carril de diseño, resultando un valor ESAL **259,873** equivalente = **2.60E+05**. Este valor se refiere al deterioro que produce cada vehículo en el pavimento, correspondiendo al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar” el cual tiene un peso de 8.2 ton (18,000 lb.) y se presentara en el carril de diseño a un periodo de diseño de **15 años**, trabajando con una **$P_0=4.2$** , **$P_t=2.0$** , **$\Delta\text{Psi}=2.2$** . A continuación se presenta los resultados detallados del cálculos de los ejes equivalentes de carga en la **Tabla N° 31**.

Tabla N° 31 Cálculo de ejes equivalente de 18 Kips en carga de ejes simples

Tipo de vehículo	Peso por eje (Ton. m)	Peso por eje (Kip)	Tipo de eje	Factor ESAL	Cant de veh	FC	Factor distribu ción por carril (FDc)	Factor distribución por dirección (Fd)	Tránsito de diseño	ESAL de diseño
Autos	1	2.2	Simple	0.00038	156	20.80	0.50	1.00	592,176	225
	1	2.2	Simple	0.00038						225
Jeep	1	2.2	Simple	0.00038	7	20.80	0.50	1.00	26,572	10
	1	2.2	Simple	0.00038						10
Camionetas	1	2.2	Simple	0.00038	114	20.80	0.50	1.00	432,744	164
	2	4.4	Simple	0.0036						1,558
Mc bus < 15 Pas	2	4.4	Simple	0.0036	33	20.80	0.50	1.00	125,268	451
	4	8.8	Simple	0.0538						6,739
Liv. 2 - 5 t.	5	11	Simple	0.134	14	20.80	0.50	1.00	53,144	7,121
	10	22	Simple	2.31						122,763
C2 5+t.	5	11	Simple	0.134	13	20.80	0.50	1.00	49,348	6,613
	10	22	Simple	2.31						113,994
ESAL o W18 de Diseño										259,873
FC: Factor de crecimiento. Cant de Veh: Cantidad de vehículo.										

Fuente: Elaboración por sustentantes

CAPÍTULO VI DISEÑO DE PAVIMENTO



6.1 Introducción

Acorde al Manual para la Revisión de Diseños de Pavimentos, el diseño apropiado de la estructura de pavimento debe permitir una adecuada protección a la sub-rasante, que soporte los esfuerzos causados por las cargas impuestas del tránsito, circunstancias acusadas por agentes climatológicos, minimizando afectaciones de drenaje, considerando los requerimientos para obtener una estructura de pavimento eficiente y eficaz (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008, págs. 27 - 30).

6.2 Generalidades

Las carreteras pavimentadas en Nicaragua se encontraron principalmente en el sistema de carreteras troncales y alguna colectoras principales y secundarias, se clasificaron en pavimentos rígidos, semi - rígidos y flexibles. En su mayoría incorporan normas de diseño y drenaje apropiado (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008).

De acuerdo con el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) existen 4 tipos de pavimentos que a continuación se describen:

- **Pavimento flexible**

Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la sub-rasante, su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión.

- **Pavimento Rígido**

Los pavimentos rígidos son aquellos en que las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante.

- **Pavimento semi - rígido**

El Pavimento semi rígido es un pavimento especial, ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible apoyada sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cemento o similares.

- **Pavimento articulado**

Pavimento articulado o de adoquines está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines, se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub-base o directamente sobre la sub-rasante.

6.3 Metodología

Los métodos que más se usaron en el país y que son recomendados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) son:

- Método de la AASHTO 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials) para pavimentos flexibles y rígidos.
- Método de la PCA (Portland Cement Association) para pavimentos rígidos.
- Método de la TRL-ORN 31 (Transport Research Laboratory Crowthorne, Berkshire, Reino Unido) para pavimentos flexibles (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

Para el diseño de espesores de pavimentos articulados se usaron varios métodos y uno de los más usados es el método AASHTO 93, para pavimentos flexibles. A continuación, se describió el procedimiento en el caso de adoquín con el método AASHTO 93.

Con la información requerida por la guía de diseño AASHTO 93, se realizó el cálculo de los espesores de pavimento. Se puede establecer la siguiente metodología incluyendo consideraciones para establecer diferentes alternativas de construcción de la estructura de pavimento. De esta forma la secuencia de diseño fue:

- Establecer vida útil.
- Conocer los datos de entrada para el cálculo.
- Elaborar resultados para las diferentes alternativas.
- Evaluar los resultados.
- Realizar recomendaciones.

6.4 Resultado del diseño de pavimento

6.4.1 Consideraciones del diseño AASHTO 93

- **Cargas de eje simple equivalentes**

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en el pavimento, este corresponde al número de ejes equivalentes llamados también “ejes estándar” el cual tiene un peso de 8.2 ton (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño a un periodo de diseño de 15 años.

Al realizar el aforo vehicular y Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), se clasificó todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un periodo de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determinó según las condiciones económicas y sociales de la zona. El proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD) posteriormente se afectó este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado denominándose ESAL de diseño, en el tramo en estudio el ESAL de diseño fue **259,873**.

Basado en el aforo vehicular, así como los resultados del estudio de suelo y los criterios de diseño de la metodología AASHTO 93, se determinó la estructura de pavimento y los espesores de las capas para pavimento articulado o adoquín.

6.4.2 Variables para el diseño de pavimento

6.4.2.1 Confiabilidad (R)

La confiabilidad (R), referimos al grado de seguridad que el diseño de la estructura de un pavimento puede llegar en buenas condiciones a fin de su período de diseño (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

Para el presente diseño se tomó niveles de confiabilidad **R= 80%** tomado por **Tabla N° 32**, tratándose así de una colectora rural.

Tabla N° 32 Niveles de confiabilidad (R) en función del tipo de carreteras

Tipo de carreteras	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 – 99	75 – 95
Colectoras Rural	80 – 95	50 – 80

Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002)

6.4.2.2 Desviación normal estándar (Zr)

Una vez seleccionado el valor de confiabilidad **R= 80%**, se busca el valor de desviación normal estándar (Zr), dando un valor de **- 0.841** en dependencia de la Confiabilidad, el valor seleccionado se muestra a continuación en la **Tabla N° 33**:

Tabla N° 33 Valores de Zr en función de la confiabilidad R

Confiabilidad (R)	Desviación normal estándar Zr	Confiabilidad (R)	Desviación normal estándar Zr
50	0.000	93	1.476
60	0.253	94	1.555
70	0.524	95	1.645
75	0.674	96	1.751
80	0.841	97	1.881
85	1.037	98	2.054
90	1.282	99	2.327
91	1.340	99.9	3.090
92	1.405	99.99	3.750

Fuente: Guía para Diseño de Estructura de Pavimento, AASHTO, 1993.

6.4.2.3 Desviación Estándar (S_o)

Este valor representa la desviación estándar conjunta e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de Serviciabilidad descienda por debajo de una determinada Serviciabilidad final (Pt) (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

Por tratarse en un pavimento articulado, cuya metodología de diseño se basa en el pavimento flexible, se asumió un valor de desviación estándar conjunta S_o de 0.45, dato recomendado según la **Tabla N° 34**.

Tabla N° 34 Valores de estimación de desviación estándar (S_o)

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Para pavimento flexible	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.35 – 0.40
En sobre-capas	0.50

Fuente: Manual Centroamericano para Diseños de Pavimentos, SIECA 2002

6.4.3 Criterios de comportamiento

El índice de Serviciabilidad de un pavimento indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo. A un pavimento en perfecto estado se le asignó un valor de Serviciabilidad inicial (P_o) que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, se asigna 5 para una condición perfecta de pavimento y un pavimento en franco deterioro, en dependencia del criterio del proyectista podría alcanzar un valor (P_t) de 0 para condiciones pésimas (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

6.4.3.1 Índice de Serviciabilidad inicial (P_o)

En el presente diseño por tratarse de pavimento articulado se asumió el valor asignado para pavimento flexible $P_o = 4.2$, valor obtenido de la **Tabla N° 35**.

Tabla N° 35 Serviciabilidad inicial, final

Serviciabilidad inicial	Serviciabilidad final
$P_o = 4.5$ Para pavimento rígidos	$P_t = 2.5$ o más para caminos principales
$P_o = 4.2$ Para pavimento flexible	$P_t = 2.0$ Para caminos de tránsito menor

Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002)

6.4.3.2 Índice de Serviciabilidad final (P_t)

El P_t asumido se basó en caminos de tránsito menor como es el caso del presente diseño por lo que se optó por $P_t = 2.0$, como se ilustra en el **Tabla N° 35**.

6.4.3.3 Variación del índice de Serviciabilidad (ΔPSI).

La diferencia entre el índice de Serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de Serviciabilidad final (P_t), es lo que se conoce variación de índice Serviciabilidad y la representamos mediante la ecuación (34).

Al aplicar la ecuación (34) en el siguiente diseño se obtiene una $\Delta PSI= 2.2$ como se muestra a continuación.

$$\Delta PSI= (P_o * P_t)$$

Ecuación (34)

$$\Delta PSI= (4.2 - 2.0)$$

$\Delta PSI= 2.20$ (Valor de la pérdida de la Serviciabilidad para el diseño)

6.4.4 Módulo de resiliente de la sub-rasante (M_R)

Para la caracterización de los materiales de la sub-rasante este método es el módulo resiliente. Este módulo se determina con un equipo especial y por tal motivo se ha establecido correlaciones para determinarlos, a partir de otros ensayos se ha encontrado una relación entre el módulo resiliente medido en el campo y el CBR del laboratorio para la misma densidad (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

El CBR de diseño de la sub-rasante es de **20. 50%**, como se muestra en la **Ilustración N° 8, pág. 36**. Este se adquirió con los criterios del Instituto de Asfalto para determinación del CBR de diseño, el cual recomienda tomar un valor adecuado conforme al ESAL, por lo que se asumió un 75%, como se indicó en la **Tabla N° 11, pág. 35**.

En el caso de este diseño se utilizó la segunda ecuación, ya que el **CBR > 10%** como se muestra en la **Tabla N° 36**.

Tabla N° 36 Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para sub-rasante

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	$M_R= 1500 * CBR$
CBR > 10%	$M_R= 4326 * \ln (CBR) + 241$

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93

Al aplicar ecuación (35) se obtiene un **MR= 13,307.36 PSI** como se muestra a continuación.

$$M_R (\text{PSI}) = 4326 \cdot \ln(\text{CBR}) + 241 \quad \text{Ecuación (35)}$$

$$M_R (\text{PSI}) = 4326 \cdot \ln(20.50) + 241$$

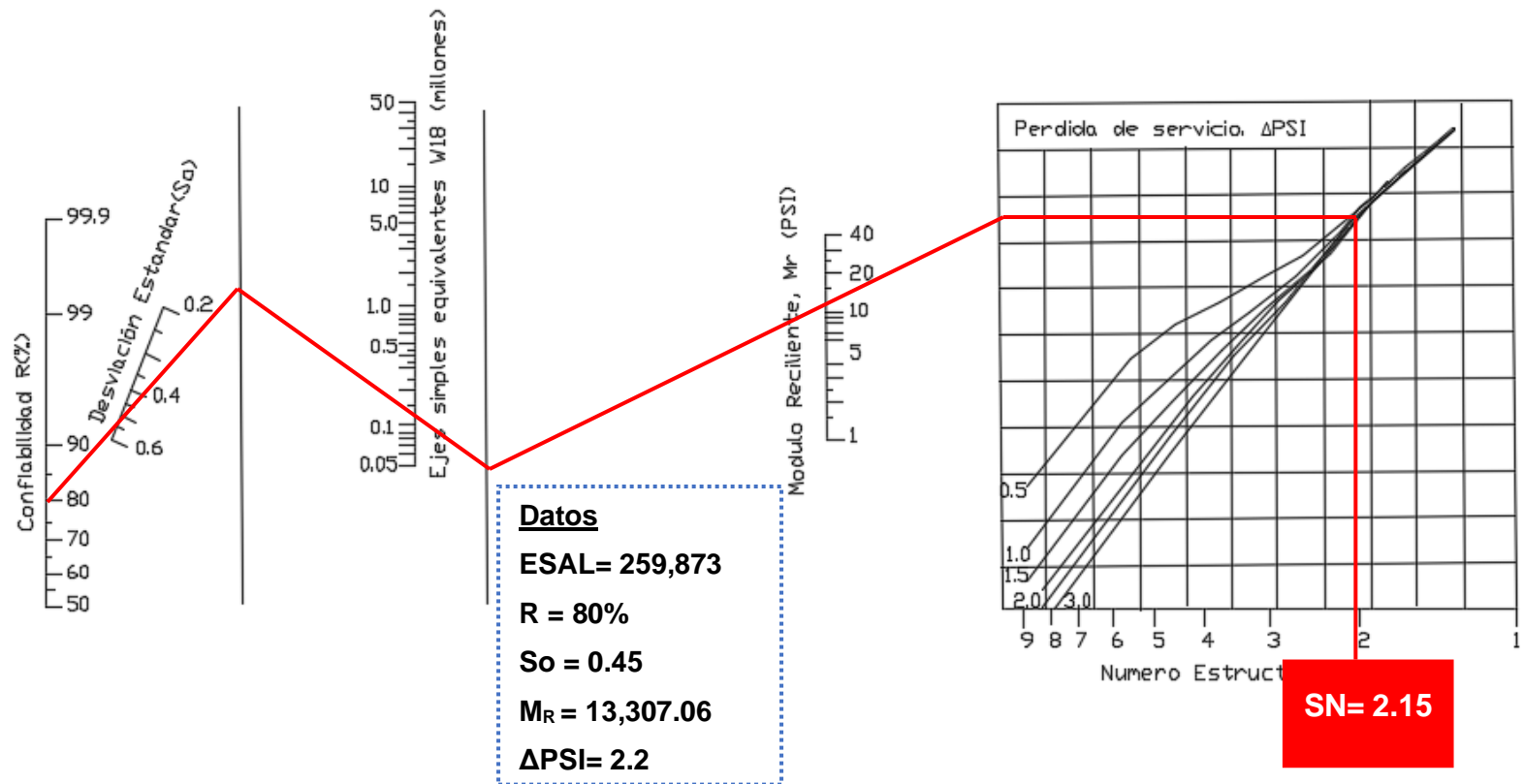
$$M_R (\text{PSI}) = 13,307.36 \text{ PSI}$$

6.4.5 Número estructural (SN)

El número estructural requerido se determinó con el uso del nomograma de la guía AASHTO 93, dando como resultado un **SN= 2.15**, como se muestra en la **Ilustración N° 20**, se determinó mediante el software WinPAS como se muestra en la **Ilustraciones N° 21 a 26**, el número estructural del adoquín **SN₁=1.80**, se asumió según el Manual Centroamericano para Diseños de Pavimentos en el capítulo 7, página 13 y el número estructural para la capa base **SN₂=0.54**, se calculó tomando en cuenta el CBR del banco de préstamo y factor estructural a_2 obtenido mediante el ábaco de AASHTO 93 citado por Manual Centroamericano para Diseños de Pavimentos en el capítulo 7, página 15.

El número estructural SN de la capa granular se presenta en **la Ilustración N° 20**.

Ilustración N° 20 Nomograma para el cálculo del SN estructural requerido



Fuente: Elaboración por sustentantes basado en AASHTO 93

6.4.5.1 Determinación SN por medio del software WinPAS

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa WinPAS. El cual resultó una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño como se muestra en la **Ilustración N° 21**.

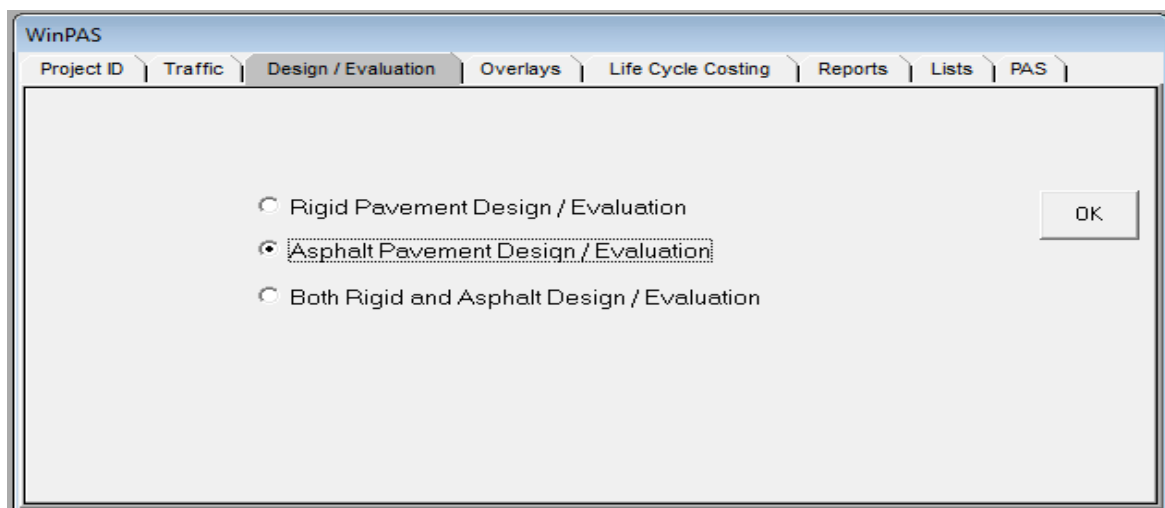
Ilustración N° 21 Software de diseño WinPAS



Fuente: WinPAS pavement Analysis Software version 1.0.4

El primer paso es seleccionar la pestaña de diseño/análisis, donde se nos abrirá una nueva ventana que nos mostrará tres opciones de diseño, donde en este caso se tendrá que elegir la opción 2 de diseño/análisis de pavimento asfáltico mostrado en la **Ilustración N° 22**.

Ilustración N° 22 Selección del Tipo de Pavimento a Diseñar



Fuente: WinPAS pavement Analysis Software version 1.0.4

Luego se abrirá otra ventana que es donde se deben introducir los datos iniciales para el diseño tales como: El número estructural, ESAL, confiabilidad (R), Desviación estándar (So), Módulo resiliente, índice de Serviciabilidad inicial (Po) y final (Pt) como se muestra en la **Ilustración N° 23**.

Ilustración N° 23 Introducción de Datos en WinPAS

Flexible Design Inputs

Structural Number	
Design ESAL	259,873
Reliability	80.00
Overall Deviation	0.45
Soil Resilient Mod.	13,307.4
Initial Serviceability, Po	4.20
Terminal Serviceability, Pt	2.20

psi

Cross Section

OK

Layer Determ.

Solve For

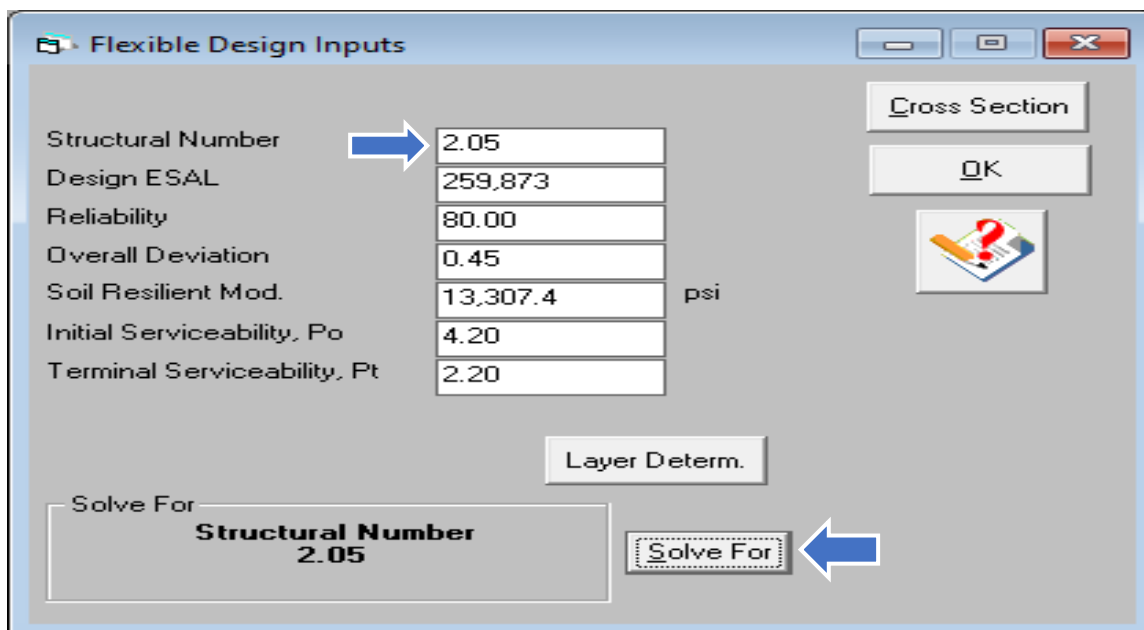
WARNING!
Input Value Changed
Press Solve For to Recalculate

Solve For

Fuente: WinPAS pavement Analysis Software version 1.0.4

No se debe escribir el número estructural, ya que este lo calcula el programa después de haber digitado el resto de datos, dando click en la pestaña resolver (Solve for) como se muestra en la ilustración anterior.

Ilustración N° 24 Introducción de Datos en WinPAS y cálculo de SN requerido en WinPAS



Parameter	Value	Unit
Structural Number	2.05	
Design ESAL	259,873	
Reliability	80.00	
Overall Deviation	0.45	
Soil Resilient Mod.	13,307.4	psi
Initial Serviceability, Po	4.20	
Terminal Serviceability, Pt	2.20	

Buttons: Cross Section, OK, Layer Determ., Solve For

Solve For: Structural Number 2.05

Fuente: WinPAS pavement Analysis Software version 1.0.4

Después de haber dado click en la pestaña resolver (Solve for). Según el software WinPAS se requiere un **SN= 2.05** mostrado en la **Ilustración N° 24**.

Lo siguiente será proponer la estructura de pavimento, entrando en la pestaña Layer Determ.

Se procede a introducir los coeficientes estructurales (a_1 , a_2), los coeficientes de drenaje (m_1 , m_2), y por último los espesores (D_1 , D_2). Se puede observar que al proponer los espesores calculados manualmente estos cumplen, ya que $\Sigma SN=2.34$, es mayor que el SN requerido=**2.05** como se muestra en la **Ilustración N° 25**.

Ilustración N° 25 Introducción de Layers de Diseño

	Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient	Layer Thickness inches	Layer Struct No. SNI	Additional Thickness inches
	Asphalt Cement Concrete	0.45	1.00	4.00	1.80	
	Graded Stone Base	0.14	1.00	4.00	0.54	

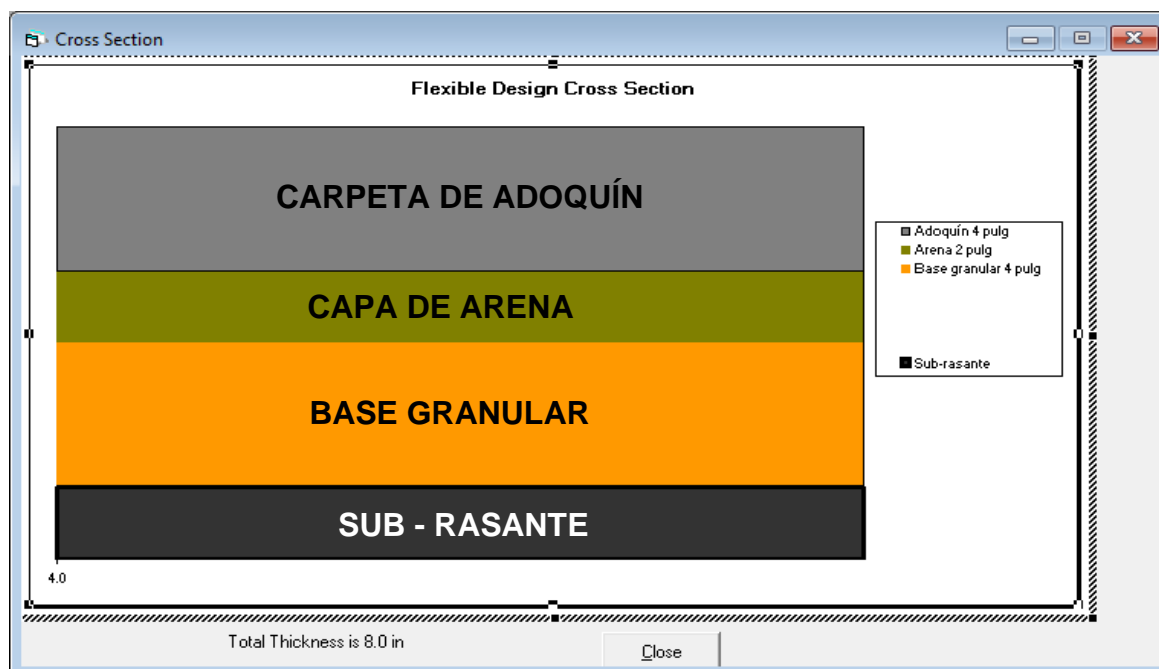
ΣSN 2.34 → OK

SN Required 2.05

Fuente: WinPAS pavement Analysis Software version 1.0.4

El total de la estructura de pavimento articulado corresponde a 25 cm, dividido de la siguiente manera: 10 cm de capa de rodamiento adoquín, 5 cm de capa de arena, 10 cm de base granular no estabilizada, correspondiente al banco de préstamo San José del Guasimal como se muestra en la **Ilustración N° 26**.

Ilustración N° 26 Estructura de pavimento articulado por medio del Software WinPAS



Fuente: WinPAS pavement Analysis Software version 1.0.4

WinPAS es un software que resuelve la ecuación (36) que usa el método AASHTO 93 para el diseño de estructura de pavimento que se describe a continuación.

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \quad \text{Ecuación (36)}$$

Donde:

W_{18} : Número de aplicaciones de cargas de 18 Kips.

Z_R : Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

S_0 : Desviación estándar de las variables.

ΔPSI : Pérdida de Serviciabilidad prevista en el diseño.

M_R : Módulo resiliente.

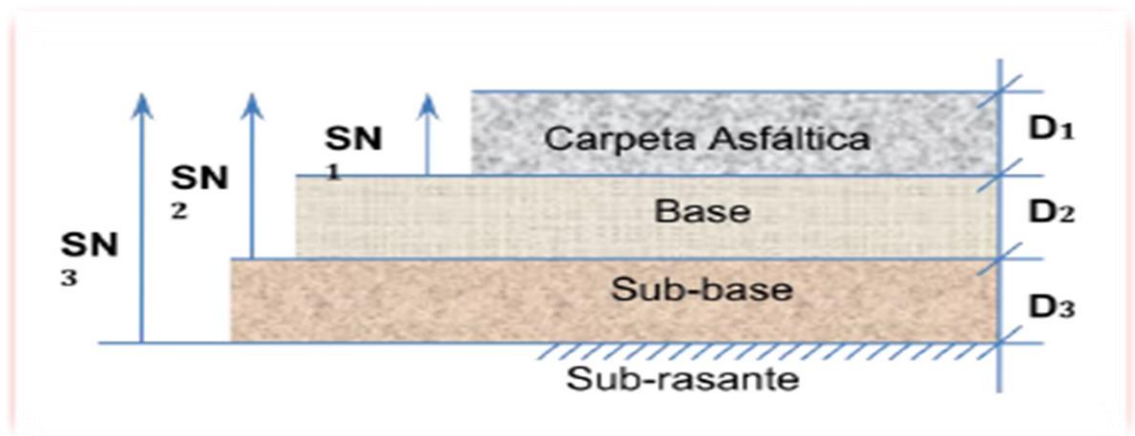
SN: Número estructural.

6.4.5.2 Espesores de la carpeta

En el espesor de la carpeta de rodamiento se adoptó 4.00 (pulg) debido a que son las dimensiones del adoquín mostrado en la **Tabla N° 39**, el cual será la carpeta de rodamiento para el diseño de la estructura de pavimento.

A continuación, se muestra la **Ilustración N° 27** para presentar el coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico, basado en el módulo resiliente.

Ilustración N° 27 Procedimiento para determinar el espesor



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

6.4.6 Coeficientes estructurales

El método asignó a cada capa del pavimento un coeficiente (a_i), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal del pavimento flexible. Estos coeficientes permitieron convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

- a_1 : es la carpeta de rodamiento
- a_2 : es la base
- a_3 : es la sub-base

6.4.6.1 Coeficiente estructural del adoquín

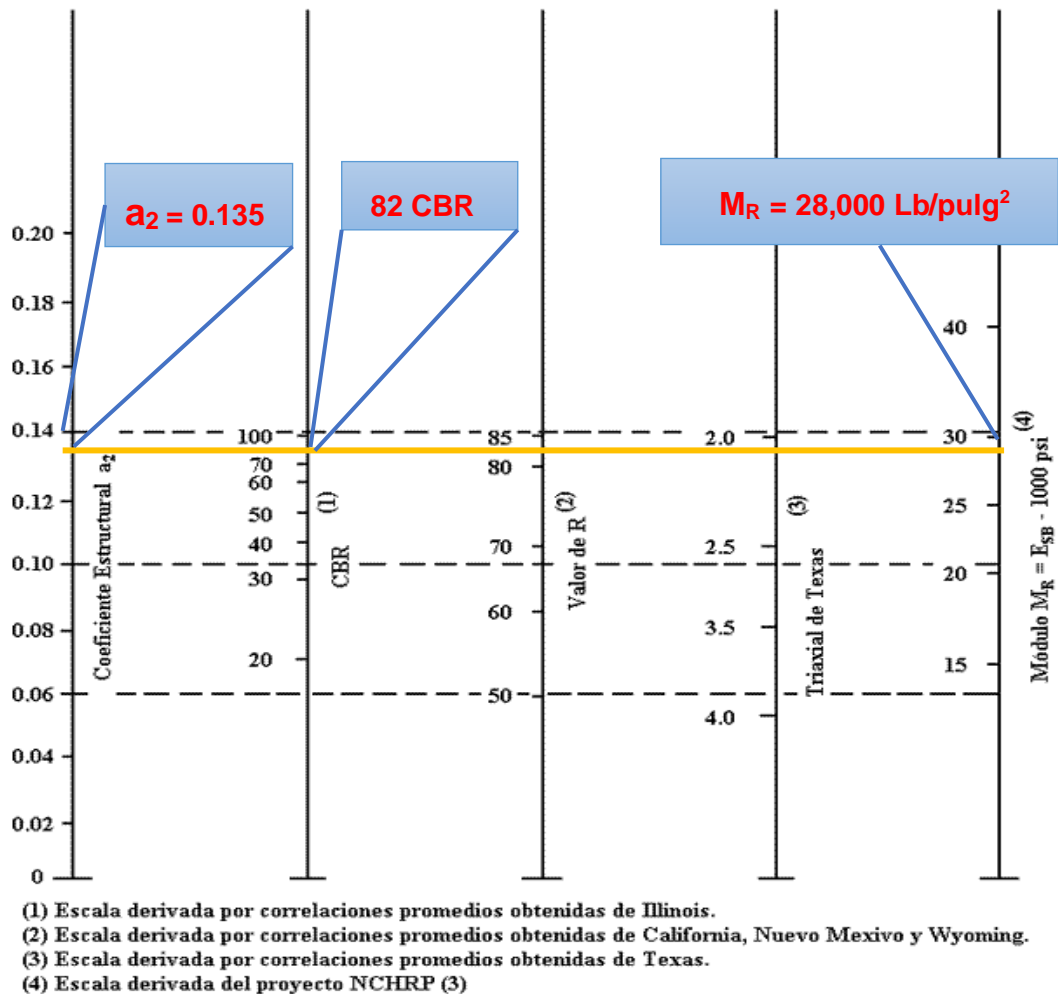
El valor del coeficiente estructural del adoquín a_1 es 0.45, valor tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Diseño de espesores con adoquín, Método AASHTO 93, página 107, el cual cuenta con un módulo de elasticidad del adoquín 450,000 PSI (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

Como se ha considerado el adoquinado como un pavimento flexible este criterio resultó válido para determinar el coeficiente a_1 .

6.4.6.2 Coeficiente estructural de la base

La determinación del valor estructural de capa base a_2 se realizó en base al siguiente nomograma el cual se muestra en la **Ilustración N° 28**.

Ilustración N° 28 Coeficiente estructural a_2 y el módulo de resiliencia para la base



Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

El valor del CBR encontrado para la base granular es de **82%**, este valor fue utilizado en el nomograma **Ilustración N° 28**, del cual resultó un coeficiente para la base granular $a_2 = 0.135$ y un módulo de resiliencia de 28,000 Lb/pulg² como se indica en el mismo.

El coeficiente a_3 es despreciado ya que la estructura de pavimento propuesta no contempla sub-base.

6.4.7 Drenaje (m_i)

La humedad adquiere importancia debido a que afecta las propiedades de los materiales que forman la estructura de un pavimento modificando su comportamiento (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

El drenaje del agua en los pavimentos, debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con los volúmenes de tránsito y cargas, anticipan la Serviciabilidad final por ocasionar daño a las estructuras de pavimento. La AASHTO 93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de diseño ver a continuación la **Tabla N° 37**.

Tabla N° 37 Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad.

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Para el presente estudio se asumió un valor de coeficiente de drenaje $m_i=1$, debido a que las condiciones de drenaje son buenos no obstante el tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximo a la saturación es mayor del 25% como se muestra en la **Tabla N° 38**.

Tabla N° 38 Coeficientes de drenaje para pavimento flexible

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximo a la saturación.			
	<1%	1-5 %	5-25%	>25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

6.4.8 Diseño de espesores

Con la ecuación (37) que se presenta a continuación y que considera el número estructural (SN) se determinó los distintos espesores de las diferentes capas rodamiento y base (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002).

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

Ecuación (37)

Donde:

- a_1 , a_2 , son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.
- D_1 , D_2 , son los espesores de capas, en pulg o mm.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

$$2.05 = 0.45 * 4 + 0.135 * D_2$$

$$D_2 = (2.05 - 0.45 * 4) / 0.135$$

$D_2 = 1.85$ in (pulg) (Por lo tanto, se usará el espesor mínimo.)

Como el resultado del espesor de la base granular fue de 1.85 (pulg), se asumió de acuerdo a la norma AASHTO 93, el valor mínimo de los espesores, por lo que se asumió un espesor de 4.00 (pulg) para la base granular D_2 , como se indica en la **Tabla N° 39**.

$D_2 = 4$ pulg ≈ 10 cm (mínimo).

Tabla N° 39 Espesores mínimos sugeridos

Número de ESAL	Capas asfálticas	Base granular
Menos de 50,000	3.0 cm	10 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Mas de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía para diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

6.4.8.1 Comprobación de diseño del espesor.

De acuerdo a la metodología AASHTO 93, el número estructural de diseño (SN1 + SN2), debe de ser mayor que el número estructural requerido (SN), criterio que sirve para verificar los resultados de diseño de espesores. La ecuación (38) y (39) muestran el cálculo del número estructural del adoquín y de la base.

$$SN_1 = a_1 * D_1 \quad \text{Ecuación (38)}$$

$$SN_1 = 0.45 * 4$$

$$SN_1 = 1.80$$

$$SN_2 = a_2 * D_2 \quad \text{Ecuación (39)}$$

$$SN_2 = 0.135 * 4$$

$$SN_2 = 0.54$$

Tomando en cuenta el criterio AASHTO 93 expresado en la ecuación (40) se evaluó el número estructural de diseño.

$$SN_1 + SN_2 \geq SN \quad \text{Ecuación (40)}$$

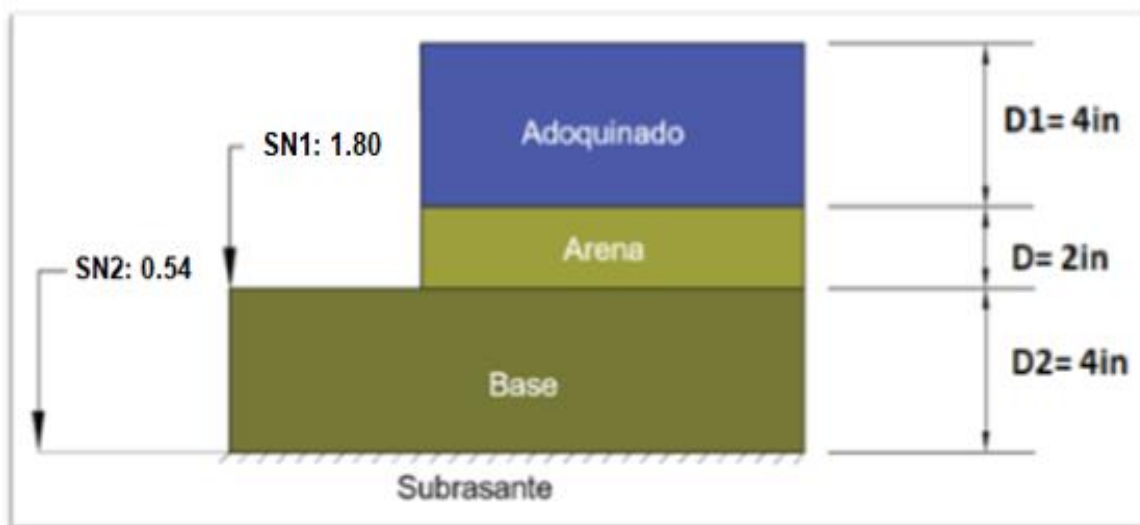
$$1.80 + 0.54 > 2.05$$

$$2.34 > 2.05 \quad \text{"O. K Cumple"}$$

Por tanto, el diseño es satisfactorio y se resumió de la manera siguiente:

Debido a que el valor de SN obtenido de la capa de adoquín es mayor que el SN_{TOTAL} del suelo de sub rasante, no se necesita de sub-base, el resultado se observa en la **Ilustración N° 29**.

Ilustración N° 29 Esquema de la estructura de pavimento.



Fuente: Elaboración por sustentantes

A continuación, se presentarán en la **Tabla N° 40**, los parámetros que se utilizaron en la estimación del número estructural SN, así como coeficientes estructurales y de drenaje para la estimación de los espesores diseño de la estructura de pavimento articulado.

Tabla N° 40 Resumen de datos calculados para el diseño de pavimento

Parámetros	Valores	Observaciones
ESAL	259,873	Ejes equivalentes de carga
Confiabilidad (R)	80%	Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera
Desviación normal estándar (Zr)	-0.841	Valores de Zr en función de la confiabilidad R
Desviación estándar (So)	0.45	Para pavimento flexible rango 0.40 - 0.50
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2	Criterios para determinar la Serviciosabilidad
Serviciabilidad final (Pt)	2.0	Criterios para determinar la Serviciosabilidad
ΔPSI :	2.2	$\Delta PSI = (Po * Pt)$
Módulo de resiliencia (M_R)	13,307.36	$4326 * LN(CBR) + 241$
a_1	0.45	Coefficiente de la carpeta para adoquín
a_2	0.135	Nomograma de variación del coeficiente la Base
m_1	1	Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx)
SN1	1.80	Número estructural para la capa de adoquín
SN2	0.54	Número estructural para la capa base
SN	2.05	Número estructural

Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2002, págs. 142 - 160)

6.4.8.2 Diseño final de los espesores

Espesor de carpeta de adoquín = 10.00 cm (4.00 pulg)

Espesor de capa de arena = 5.00 cm (2.00 pulg)

Espesor de base granular = 10.00 cm (4.00 pulg), como se muestra en la

Ilustración N° 30.

Ilustración N° 30 Estructura de Final de Pavimento articulado



Fuente: Elaboración por sustentantes

CAPÍTULO VII COSTO Y PRESUPUESTO



7.1 Introducción

Presupuesto es el cálculo anticipado del costo total estimado para ejecutar la construcción, reparación o mantenimiento de un diseño vial, generalmente identificado como tramo o subtramos de la red vial del país en un período de tiempo fijado. El presupuesto es la resultante de sumar los cinco elementos que componen el cálculo del costo estimado de la obra y que son: costo directo (CD) + costo indirecto (CI) + costo de administración central (CAC) + utilidad (U) + impuestos (I) (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008).

7.2 Generalidades

A continuación, se describieron los costos directos e indirecto que junto con otros componentes conforman el presupuesto del presente trabajo monográfico:

- **Costos directos**

Costos directo son aquellos recursos que hacen parte de las actividades y poseen una relación directa con la elaboración del bien o prestación del servicio (Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico - ITSA, 2013).

- **Costo de materiales**

El costo de los materiales esta dado por el precio de adquisición de los mismos y en algunos casos se incrementa o disminuye en razón a unos elementos importantes que hacen que el costo inicial varíe, como son el costo de almacenamiento, los fletes, los seguros, los descuentos comerciales entre otros (Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico - ITSA, 2013).

- **Costos indirectos**

Son los costos previstos en que se debe incurrir de manera global para realizar la construcción, mantenimiento o reparación de un sitio crítico de la red en la jurisdicción de una municipalidad en un plazo establecido, sin que puedan ser aplicados directamente en la realización de la actividad (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008).

- **Costos de administración central**

Son los costos previstos en que puede incurrir un contratista al atender y monitorear con su administración central la construcción, reparación o mantenimiento de un sitio crítico de la red en la jurisdicción de una municipalidad en un plazo establecido. Este costo se presenta en forma de porcentaje de la sumatoria de los costos directos e indirectos, con un rango entre el 4% y el 10%. Este costo disminuye cuando el contratista ejecuta simultáneamente varios trabajos y cuando éstos están ubicados en una misma zona geográfica (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008).

- **Costos de utilidad**

Son los costos previstos que un contratista espera obtener como ganancia por ejecutar la construcción, reparación o mantenimiento, de un sitio crítico de la red en la jurisdicción de una municipalidad en un plazo establecido. Este costo se presenta en forma de porcentaje de la sumatoria de los costos directos, indirectos y de administración central, con un rango entre el 3% y el 10% (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008).

- **Impuestos**

Son los costos previstos en que debe incurrir un contratista como carga impositiva en cumplimiento de las leyes tributarias vigentes por ejecutar la construcción, reparación o mantenimiento de un sitio crítico de la red en la jurisdicción de una municipalidad en un plazo establecido. Este costo se presenta en forma de porcentaje de la sumatoria de los costos directos, indirectos, de administración central y de utilidad, siendo actualmente el 1% de impuesto municipal (IM) y el 15% de impuesto de valor agregado (IVA), que se aplica a la misma sumatoria anterior, pero agregándole el impuesto municipal (Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI, 2008).

7.3 Metodología

El presupuesto se hizo siguiendo el siguiente proceso:

- Se calculó la cantidad de materiales basados en los planos constructivos.
- Se utilizaron el catálogo actualizado de precios unitarios para obras civiles del Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE).
- Se calculó los costos utilizando una hoja de cálculo tomando en cuenta las cantidades de obras y cantidad de precios organizados según las etapas a realizar en la construcción de la obra.
- Se elaboró un presupuesto detallado por etapas y actividad.
- Se elaboró un resumen de presupuesto por etapas.

7.4 Resultado del costo y presupuesto

7.4.1 Descripción general del tramo en estudio

El tramo en estudio se encuentra ubicado en el empalme San Francisco, kilómetro 120 Carretera Panamericana del municipio de La Trinidad. Está formado por un tramo de 1,120 m, con un ancho de rodamiento de 6.6 m, iniciando en la estación 0+000 (empalme San Francisco) y finalizando en la estación 1+120 (puente La Quebrada).

Para lograr el objetivo de este capítulo se ha contemplado la ejecución de actividades propia de la rehabilitación de caminos en dos componentes principales bien diferenciado entre ellos: carpeta de rodamiento (nivelación y conformación, corte y relleno, colocación de adoquines) y drenaje vial (vados de concretos y construcción de cunetas con bordillo), señalización horizontal y vertical.

A continuación, en la **Tabla N° 41** se presenta la información del tramo en estudio.

Tabla N° 41 información del tramo en estudio

Información del tramo en estudio	
Título monográfico:	Diseño 1,300 m de pavimento semi - rígido del tramo empalme San Francisco - puente La Quebrada, municipio de La Trinidad
Ubicación:	Municipio de La Trinidad, comunidad San Francisco km 120
Tramo:	Estación 0+000 empalme San Francisco – Estación 1+120 puente La Quebrada comunidad de San Francisco
Longitud:	1,120 m
Fecha:	Noviembre, 2019

Fuente: Elaboración por sustentantes

A continuación, en la **Tabla N° 42** se presenta la descripción general del tramo en estudio.

Tabla N° 42 Descripción general del tramo en estudio

Actividad	Unidad de medida	Cantidad
Tasa de cambio en el mes de Noviembre del 2019	C\$/US\$	33.6
Longitud del tramo	metros	1,120
Derecho de vía	metros	20
Ancho de carriles de rodamiento	metros	3.30
Ancho de rodamiento	metros	6.60
Ancho de cuneta	metros	0.60
espesor de cuneta	metros	0.15
Ancho total de calle (rodamiento más cunetas)	metros	7.20
Profundidad de corte	metros	0.25
Base	metros	0.1
Bordillo longitudinal (ancho)	metros	0.15
Bordillo longitudinal (altura)	metros	0.25
Viga de remate (ancho)	metros	0.15
Viga de remate (altura)	metros	0.25
Espaciamiento de viga de remate	metros	50

Fuente: Elaboración por sustentantes

7.4.2 Presupuesto del tramo en estudio

En el presente capítulo, se presenta cada una de las etapas para el diseño 1,120 m de pavimento semi - rígido del tramo empalme San Francisco, municipio de La Trinidad, presentando detalles de los costos que conlleva a obtener el presupuesto, tomando en consideración los costos directo (materiales, mano de obra, herramientas y equipos), y el costo indirecto (gastos administrativos, impuesto y utilidades).

Para definir los costos unitarios se utilizó el catálogo de etapas para proyecto de rodamiento del FISE.

7.4.2.1 Costos directos

- Materiales: Se utilizaron el catálogo actualizado de precios unitarios para obras civiles del Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE).
- Mano de obra: Se determinó como un porcentaje de costo unitarios de la actividad (material + equipo).
- Maquinaria y equipo: Se obtuvo a partir de la guía del costo del FISE mencionada anteriormente, de acuerdo con unidad de medida reflejada.

7.4.2.2 Costos indirectos

Para la determinación de los costos indirectos se aplicaron factores del total del costo directo de la obra. A continuación, en la **Tabla N° 43** se detallan los costos indirectos.

Tabla N° 43 Costos indirectos

Costos indirectos	
Costos	Porcentaje
Utilidades	10%
Impuestos sobre renta (IR)	2%
Impuesto valor agregado (IVA)	15%
Impuesto municipal	1%

Fuente: Elaboración por sustentantes

7.4.3 Determinación de los costos directos por etapa

El cálculo de cantidad de cada una de las etapas, se hizo según los planos y especificaciones técnicas del diseño. Tomando en consideración que, para la construcción de las obras, se utilizará mano de obra calificada como se muestra en la **Tabla N° 44**, además de capacitar al personal para la supervisión y mantenimiento de las obras proveniente de la población de cada uno del tramo. Para lograr la estrategia de ejecución de la obra, se debe de contar con el personal que a continuación se detalla:

Tabla N° 44 Cantidad de mano de obra

Personal	Cantidad
Ingeniero residente	1
Fiscal o maestro de obras	1
Albañiles	10
Ayudantes	20
Operadores de tractor	2
Operadores de camiones volquetes	4
Operador de motoniveladora	1
Operador de retroexcavadora	1
Operador del cargador frontal	1
Operador de vibro compactador	1
Operador de cisterna	1
Mecánicos de equipo pesado	2
Bodeguero	1
Total	46

Fuente: Elaboración por sustentantes

Para el cálculo de los costos unitarios, es necesario tener en cuenta el listado de materiales que se deben de utilizar en cada una de las etapas de la obra, a continuación, se detallan en la **Tabla N° 45**.

Tabla N° 45 Take off de los materiales considerados para el tramo en estudio

Take off de los materiales a utilizar				
Descripción de los materiales	Cantidad	U/M	Precio unitario (C\$)	Total (C\$)
Cemento Holcim	1460.00	Bolsa	315	459900
Adoquín	136752.00	Unidad	17	2324784
Cuchillas	22176.00	Unidad	10	221760
Arena Motastepe	38.63	m³	600	23179.185
Arena río coco	523.15	m³	550	287730.6432
Grava 3/4"	51.11	m³	650	33219.27375
Material selecto	936.05	m³	25	23401.21212
Tubo negro redondo 1-1/2" Sch-14	2.00	Unidad	600	1200
Soldadura 6011 x 1/8"	11.00	Lb	50	550
Disco abrasivo 9" x 5/64" x 7/8" De Walt	2.00	Unidad	75	150
Goloso punta de broca para techo 2"	30.00	Unidad	1	30
Rótulo metálico de 1.22 x 2.44 m	1.00	Unidad	5075	5075
Cuartón 2 1/2" x 2 1/2" x 6vrs	75.00	Unidad	100	7500
Regla 1" x 2" x 6 vrs	514.00	Unidad	75	38550
Clavo corriente 2 1/2"	60.00	Lb	22.5	1350
Tubo cuadrado galvanizado 2" x 2" x Sch 12	10.00	Unidad	550	5500
Rótulo de señales preventivas	10.00	Unidad	2075	20750
Tabla 12 x 1 x 6 vrs	50.00	Unidad	500	25000

Fuente: Elaboración por sustentantes

La maquinaria pesada de la construcción y equipos considerados en la ejecución del movimiento de tierra y/o remoción de estructuras a continuación se detalla en la **Tabla N° 46**.

Tabla N° 46 Maquinaria y equipo para la ejecución de la obra

Descripción del equipo	Cantidad
Camión carga desmontable estándar	2
Cargador frontal (3m³)	1
Camiones de volteo (10 m³)	4
Mezcladora para 2 bolsas	4
Camión plataforma (5 Ton.)	2
Vibro compactadora de rodillo (8 ton)	1
Camión cisterna de 1,500 galones	1
Minicargador frontal	1
Bulldozer D6	1
Motoniveladora 140H	1
Total	18

Fuente: Elaboración por sustentantes

7.4.3.2 Etapa 1 (Preliminares 250 00)

La Etapa Preliminares contempla las siguientes actividades.

- **Limpieza inicial (250 01)**

Se calculó tomando el ancho de calzada de 6.60 m, así como cunetas 0.60 m por ambas bandas, bordillo de 0.15 m a ambas bandas para un ancho total por banda de 7.80 m y un costo unitario de esta actividad de C\$ 3.63 (córdobas), por metro cuadrado (m²). Los detalles de su costo unitario directo se muestran en la **Tabla N° 47**.

Tabla N° 47 Limpieza inicial

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
250 (01)	Limpieza inicial	m ²	8736.00	3.63

Fuente: Elaboración por sustentantes

- **Rótulo (250 04)**

Consiste en la colocación del rótulo informativo de la obra, los detalles de su costo unitario directo se muestran en la **Tabla N° 48**.

Tabla N° 48 Costo unitario del rótulo

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
250 (04)	Rótulo Informativo del Proyecto	c/u	1.00	9,106.83

Fuente: Elaboracion por susentantes

- **Trazo y nivelación (250 06)**

Para todas las operaciones de nivelación, se establecerán estacas de referencia cada 20 m aproximadamente. Se Tomó el largo del tramo que equivale a 1,120 m y considerando un costo unitario de esta actividad de C\$ 23.09 (córdobas), por metro Lineal como se muestra en la **Tabla N° 49**.

Tabla N° 49 Trazo y nivelación

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
250 (06)	Trazo y Nivelación	ml	8736.00	23.09

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Movilización y desmovilización (251 02)**

Consiste en trasladar la maquinaria pesada de construcción ida y vuelta hacia la obra, es decir, movilización y desmovilización de la maquinaria, los detalles de su costo unitario directo se muestran en la **Tabla N° 50**.

Tabla N° 50 Costo unitario de movilización y desmovilización

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
251 (02)	Movilización y desmovilización	Gbl	2	1,645.46

Fuente: Elaboracion por sustentantes

7.4.3.3 Etapa 2 (Movimiento de tierra 260 00)

- **Acarreo de materiales (260 01)**

El acarreo de los materiales consiste en movilizar los materiales entre ellos tenemos: banco de préstamo, material selecto y/o materiales inadecuados, los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 51**.

Tabla N° 51 Costo unitario de acarreo de materiales

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
260 01	Acarreo de materiales	m ³	1135.68	531.07

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Corte (260 02)**

Se realizo el corte de la vía de como irá constituida la carpeta de rodamiento para el tramo en estudio de 1,120 m, tendrá un corte total de 1895.79 m, datos que nos proyectó el software civil 3D. los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 52**.

Tabla N° 52 Costo unitario de corte

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
260 02	Corte	m ³	1895.79	27.42

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Conformación y compactación de base (260 05)**

Consiste en calcular el volumen de base granular a ser nivelada, conformada y compactada, multiplicando su longitud de 1,120 m, así como los 6.60 m de ancho de la sección transversal típica rural. Los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 53**.

Tabla N° 53 Costo unitario de conformación y compactación de base

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
260 05	Conformación y compactación de base	m ²	7392.00	8.91

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Botar tierra sobrante de excavación (260 07)**

Consiste en desalojar el material sobrante realizado en la etapa 2 (movimiento de tierra), material que ya no es necesario para la obra. los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 54**.

Tabla N° 54 Costo unitario de botar tierra sobrante de excavación

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
260 07	Botar tierra sobrante de excavación	m³	2402.40	52.23

Fuente: Elaboracion por sustentantes

7.4.3.4 Etapa 3 (carpeta de rodamiento 270 00)

- **Adoquinado (270 01)**

Una vez terminado el proceso de cortes, rellenos y compactación para conformar la estructura de pavimento se procederá a colocar una capa de 5 cm de arena. La arena que se utilizará deberá ser pasada el 100% por la malla No. 4 y deberá estar libre de terrones de arcilla, basura o cualquier otro material inadecuado. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas, después de colocadas. El adoquín que se seleccionó es del tipo "TRÁFICO", de concreto de 3500 PSI. La superficie adoquinada, una vez terminada deberá tener un bombeo del 3% lateral para facilitar el escurrimiento del agua. Los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 55**.

Tabla N° 55 Costo unitario de adoquinado

Código	Concepto de Obra	Unidad de Medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
270 01	Adoquinado	m²	7392.00	512.61

Fuente: Elaboracion por sustentantes

7.4.3.5 Etapa 4 (Cunetas, andenes y bordillos 280 00)

- **Cunetas rurales (280 04)**

La superficie adoquinada una vez terminada, se colocó cunetas de concreto de 3500 PSI para los 1,120 m, considerando que serán para una vía (colectora rural). Los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 56**.

Tabla N° 56 Costo unitario de cuneta rurales

Código	Concepto de Obra	Unidad de Medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
280 04	Cunetas rurales	ml	2240.00	215.03

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Viga remate (280 16)**

Se procedió a colocar vigas de remate transversales de 3500 PSI, considerando que serán de 0.15 m de ancho por 0.30 m de alto espaciadas a cada 50 m. Los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 57**.

Tabla N° 57 Costo unitario de vigas de remate

Código	Concepto de obra	Unidad de Medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
280 16	Vigas de remate	ml	33.00	190.79

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Bordillo de concreto (280 17)**

Se procedió a colocar bordillos longitudinales de 3500 PSI, considerando que serán de 0.15 m de ancho por 0.30 m de alto, los resultados se muestran a continuación, en la **Tabla N° 58**.

Tabla N° 58 Costo unitario de bordillo de concreto

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
280 17	Bordillos de concreto	ml	2240.00	138.75

Fuente: Elaboracion por sustentantes

- **Vados de concreto (290 27)**

Se procedió a colocar vados de concreto de 3500 PSI a lo largo del tramo en estudio siendo en total 5 vados, considerando que serán de 4.00 m de ancho por 0.30 m de alto. Los resultados se muestran a continuación, en la **Tabla N° 59**.

Tabla N° 59 Costo unitario de vados de concreto

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
290 27	Vado de concreto	ml	33.00	429.14

Fuente: Elaboracion por sustentantes

7.4.3.6 Etapa 5 (Señalización horizontal y vertical 291 00)

- **Señales viales permanentes (291 04)**

Esta etapa consistió en la colocación de señales permanente que permitan prevenir el número de accidente al momento de trafcarlo. Los detalles de su costo unitario se muestran en la **Tabla N° 60**.

Tabla N° 60 Costo unitario de señales viales permanentes

Código	Concepto de Obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
291 04	Señales viales permanentes	Unidad	10.00	3,664.80

Fuente: Elaboracion por sustentantes

7.4.3.7 Etapa 6 (Limpieza final y entrega 300 00)

- **Limpieza final (300 01)**

Se procedió a hacer la limpieza final a lo largo del tramo de 1,120 m. Esta etapa se cobra de forma global (Gbl), con un costo de **C\$ 11,518.21** como se muestra en la **Tabla N° 61**.

Tabla N° 61 Costo unitario de limpieza final

Código	Concepto de obra	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario directo(C\$)
300 01	Limpieza final	Gbl	1.00	11,518.21

Fuente: Elaboracion por sustentantes

7.5 Presupuesto general de costo directo e indirecto por etapas de la obra

Tabla N° 62 Presupuesto general de la obra (Etapa 1-3)

CODIGO	CONCEPTO DE OBRA	U/M	CANTIDAD	COSTO UNITARIO DIRECTO(C\$)	COSTO UNITARIO DE VENTA(C\$)
250 00	Preliminares				C\$ 245,773.82
250 01	Limpieza inicial	m²	8736.00	C\$ 3.63	C\$ 31,675.09
250 04	Rótulo	unidad	1.00	C\$ 9,106.83	C\$ 9,106.83
250 06	Trazo y nivelación	m²	8736.00	C\$ 23.09	C\$ 201,700.98
251 02	Movilización y desmovilización de equipos	Gbl	2.00	C\$ 1,645.46	C\$ 3,290.92
260 00	Movimiento de tierra				C\$ 846,481.80
260 01	Acarreo de materiales	m³	1135.68	C\$ 531.07	C\$ 603,127.43
260 02	Corte	m³	1895.79	C\$ 27.42	C\$ 51,990.75
260 05	Conformación y compactación de base	m²	7392.00	C\$ 8.91	C\$ 65,884.19
260 07	Botar tierra sobrante de excavación	m³	2402.40	C\$ 52.23	C\$ 125,479.43
270 00	Carpeta de rodamiento				C\$ 3,789,195.76
270 01	Adoquinado	m²	7392.00	C\$ 512.61	C\$ 3,789,195.76

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 63 Presupuesto general de la obra (Etapa 4-6)

CODIGO	CONCEPTO DE OBRA	U/M	CANTIDAD	COSTO UNITARIO DIRECTO(C\$)	COSTO UNITARIO DE VENTA(C\$)
280 00	Cunetas, andenes y bordillos				C\$ 812,938.02
280 04	Cunetas rurales	ml	2240.00	C\$ 215.03	C\$ 481,670.93
280 16	Vigas de remate	ml	33.00	C\$ 190.79	C\$ 6,296.04
280 17	Bordillos de concreto	ml	2240.00	C\$ 138.75	C\$ 310,809.52
290 27	Vado de concreto	ml	33.00	C\$ 429.14	C\$ 14,161.54
291 00	Señalización horizontal y vertical	Unidad			C\$ 36,648.05
291 04	Señales viales permanentes	Unidad	10.00	C\$ 3,664.80	C\$ 36,648.05
300 00	Limpieza final y entrega				C\$ 11,518.21
300 01	Limpieza final	Gbl	1.00	C\$ 11,518.21	C\$ 11,518.21
Sub-total sin impuesto					C\$ 5,742,555.67
Impuesto Municipal (1.0%)					C\$ 57,425.56
Impuesto sobre la Renta I.R. (2%)					C\$ 114,851.11
Impuestos 15%					C\$ 861,383.36
Total, general en córdobas					C\$ 6,776,215.69
Total, general en dólares					\$ 201,673.09

Fuente: Elaboración por sustentantes

De acuerdo con los resultados del Take Off, el tramo en estudio de 1,120 m de adoquinado, desde el Empalme San Francisco Carretera Panamericana hasta el puente La Quebrada, se obtuvo el siguiente resumen de costo por etapas en la **Tabla N° 64.**

Tabla N° 64 Resumen de costos por etapas

Costo por etapas	Costo total (C\$)
Preliminares (250 00)	C\$ 245,773.82
Movimiento de tierra (260 00)	C\$ 846,481.80
Carpeta de rodamiento (270 00)	C\$ 3,789,195.76
Cunetas, andenes y bordillos (280 00)	C\$ 812,938.02
Señalización horizontal y vertical (291 00)	C\$ 36,648.05
Limpieza y entrega (300 00)	C\$ 11,518.21
Costo directo	C\$ 5,742,555.67
Costos indirectos	C\$ 1,033,660.02
Costo total	C\$ 6,776,215.69
Costo total en dólares	\$ 201,673.09

Fuente: Elaboracion por sustentantes

De acuerdo a la **Tabla N° 64** el costo total del tramo en estudio será C\$ **6,776,215.69** (seis millones setecientos setenta y seis mil dosiento quince con 69/100) equivalentes a \$ **201,673.09** (dosiento un mil seiscientos setenta y tres con 09/100).

CONCLUSIONES

De acuerdo los objetivos planteados inicialmente se han concluido lo siguiente:

➤ Estudio topográfico

Se realizó el estudio topográfico del tramo vial desde la comunidad San Francisco hasta el empalme de la Carretera Panamericana Norte. A partir del levantamiento topográfico, se determinó que el terreno es tipo ondulado. A partir de los puntos topográficos se modeló el terreno para el diseño altoplanimétrico de la vía acorde a las condiciones existentes.

➤ Diseño geométrico

Se diseñó geométricamente el tramo aplicando las Normas para el Diseño Geométricos de las Carreteras Regionales (SIECA, 2004), el tramo en estudio se clasificó como colectora rural con un terreno ondulado, definiendo un ancho de rodamiento de 6.6 m, vehículo de diseño tipo C-2 (bus) y velocidad de diseño de 30 km/h. Con el apoyo del programa Civil 3D, se diseñaron 12 curvas horizontales y 12 curvas verticales (7 tipo cresta y 5 en columpio) realizando el diseño planta perfil ajustado a las restricciones y criterios establecidos por la Norma.

➤ Estudio de suelo

Se realizó y analizó los estudios de suelos para 13 sondeos de línea y banco de préstamo, predominando los del tipo **A-1-b y A-2-6**. El CBR de diseño de la sub - rasante resultó de **20.50%** a partir de un percentil del 75%. El Banco de préstamo a utilizarse “**San José del Guasimal**” posee un CBR de **82%** al 95% de compactación, cumpliendo con las especificaciones de la NIC-2000 Sección: 1003.09 (a y b) para ser utilizado como material Base.

➤ Estudio de tránsito

Se determinó por medio de un aforo manual el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) equivalente **474** vehículos por día. Para la proyección de tránsito se utilizó una tasa de crecimiento para todos los vehículos del **4.51%**, y un factor de crecimiento de **20.80%**, obtenida del análisis de serie de tiempo estación 108, tomando factores de expansión de la estación de dependencia número 200.

El tránsito de diseño para el periodo en análisis de 15 años fue de **TD= 1,279,252** vehículos, los cuales basados en condiciones de carga impuestas generaron un total de repeticiones por eje equivalente (ESAL) de **259,873**.

➤ **Diseño de pavimento**

A partir del cálculo de la repetición de ejes de carga equivalente, condiciones existentes de suelo y proyecciones de tránsito, aplicando el método AASHTO 93, se diseñó los espesores requeridos para la estructura de pavimento. Los espesores resultantes fueron: **4.00 (pulg)** para la carpeta de rodamiento (Adoquín), **2.0 in (pulg)** para la capa de arena, **4.00 (pulg)** para la base granular no estabilizada, utilizando banco de préstamo disponible.

➤ **Costo y presupuesto**

Se determinó que el total de costos directos para la construcción de este adoquinado es de **C\$ 5,742,555.67** córdobas, con costos indirectos en el orden de **C\$ 1,033,660.02** córdobas, para un monto total de **C\$ 6,776,215.69** córdobas, equivalentes a **\$ 201,673.09** dólares, con una tasa de cambio de **C\$ 33.60** por un dólar estadounidense, considerando la guía de costos FISE.

RECOMENDACIONES

- Asegurar la adecuada señalización especialmente en los tramos que llevan curvas cerradas debido a la naturaleza irregular de la topografía donde se construirá la vía.
- Respetar las pendientes y escorrentía para este tipo de superficie ya que al tratarse de adoquín y de pendiente muy elevada podrían desencajonarlos.
- Hacer un replanteo adecuado con un personal calificado respetando el diseño geométrico para que las maquinarias empleadas en los corte y nivelación puedan realizar un trabajo adecuado.
- La estructura de drenaje menor deberá ser diseñada con concreto que tengan una fatiga mínima a la ruptura de 3500 PSI de compresión a los 28 días de colocado en la obra.
- Una vez construida la carpeta de rodamiento darle mantenimiento periódico para maximizar su vida útil.
- Realizar un monitoreo anual aleatorios para conocer las tendencias del aumento del tránsito en la vía.
- En la elaboración de la capa base se debe contar que el material no esté contaminado, que esté libre de cualquier otro material que pueda disminuir la resistencia de la estructura y provocar hundimiento en la estructura de rodamiento
- Utilizar adoquín tipo tráfico presentes de fábricas certificadas y reconocidas a nivel nacional y que cumpla con su resistencia de 3500 PSI según la NIC – 2000.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Central de Nicaragua - BCN. (2018). Informe Anual 2018. Managua.
- Cal, R., Reyes Spíndola, M., & Cárdenas Grisales, J. (1994). Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones (7ma ed.). México D.F.
- Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico - ITSA. (2013). Manual de Costos y Presupuestos. México: ITSA.
- Matera, L. C. (2002). Topografía Plana. Merida: Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería de Vías.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI. (2008). Manual para la Revisión de Diseño Geométrico. Managua: PAST-DANIDA.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI. (2018). Red Vial de Nicaragua 2017. Managua: MTI.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI. (2008). Manual para la Revisión de Costos y Presupuestos. Managua: PAST-DANIDA.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI. (2008). Manual para la Revisión de Estudios y Diseños de Pavimentos. Managua, Nicaragua: Past - Danida.
- Secretaria de Desarrollo Social - SEDESOL. (1994). Manual de Estudio de Ingeniería de Tránsito. México: Dirección general de ordenación del territorio.
- Secretaria de Integración Económica Centroamericana - SIECA. (2002). Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimento. Guatemala: SIECA.
- Secretaria de Integración Económica Centroamericana - SIECA. (2002). Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimento. Guatemala: SIECA.
- Secretaria de Integración Económica Centroamericana - SIECA. (2004). Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. Guatemala: SIECA 2da Edición.
- Universidad Mayor de San Simón - UMSS. (2004). Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico CIV – 326. Cochabamba: UMSS.

ANEXOS



ANEXO A ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Tabla N° 65 Levantamiento topográfico

N°. Punto	X	Y	Z	Descripción
1	584898	1430426	565	CERCO
2	584884	1430422	566	OC
3	584876	1430420	567	OC
4	584873	1430421	567	CUNET
5	584872	1430421	567	CUNET
6	584870	1430422	567	CUNET
7	584862	1430426	568	N
8	584860	1430428	572	CERCO
9	584859	1430445	570	N
10	584868	1430446	569	CUNET
11	584868	1430447	568	CUNET
12	584871	1430447	568	CUNET
13	584871	1430447	569	OC
14	584880	1430448	568	OC
15	584885	1430449	567	N
16	584895	1430449	566	CERCO
17	584908	1430388	562	CERCO
18	584902	1430386	562	N
19	584896	1430384	563	OC
20	584888	1430381	564	OC
21	584883	1430379	564	N
22	584876	1430376	564	CERCO
23	584878	1430388	564	ROTUL
24	584875	1430384	565	ROTUL
25	584878	1430390	565	ROTUL
26	584874	1430393	565	ROTUL
27	584901	1430406	564	PR
28	584900	1430409	564	PR
29	584900	1430408	564	CERCO
30	584894	1430406	564	CERCO
31	584889	1430406	565	OC
32	584879	1430408	566	EJE
33	584881	1430398	565	N
34	584876	1430419	567	N
35	584859	1430407	567	LC
37	584858	1430413	567	CUNET
38	584857	1430414	567	CUNET
39	584859	1430401	567	OC
40	584854	1430422	568	N

Fuente: Elaboración por sustentante

Tabla N° 66 Corrida de los bancos de nivel de precisión

Corrida de BMs	X	Y	Z
BM1	584897.55	1430406.00	564.00
BM2	584779.04	1430410.97	573.15
BM3	584694.01	1430358.77	576.27
BM4	584674.16	1430198.10	575.03
BM5	584569.08	1430043.74	581.27
BM6	584559.49	1429960.94	583.18
BM7	584442.40	1429802.83	581.29
BM8	584332.30	1429753.90	586.68
BM9	584316.12	1429755.46	587.34
BM10	584179.99	1429728.79	591.03

Fuente: Elaboración por sustentantes

ANEXO B DISEÑO GEOMETRICO

Tabla N° 67 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES		COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480
13	Radio Min. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: (Secretaria de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004, pág. 30)

Ilustración N° 31 Derecho de vía y sección transversal típica de una carretera colectora rural



Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004, pág. 31)

ANEXO C ESTUDIO DE SUELO

Tabla N° 68 Sistema de clasificación de suelos AASHTO 93

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: Ing. De pavimentos para carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág. 46.

Tabla N° 69 Correlación entre el tipo de material, CBR y k

Clasificación ASSHTO	Descripción	Clasif. S. U.	Densidad Seca (kg/m3)	CBR (%)	Valor K (psi/in)
Suelos granulares:					
A-1-a, bien graduada	Grava	GW, GP	125 - 140	60 - 80	300 – 450
A-1-a, mal graduada			120 - 130	35 - 60	300 – 400
A-1-b	Arena Gruesa	SW	110 – 130	20 - 40	200 – 400
A-3	Arena Fina	SP	105 – 120	15 -25	150 – 300
A-2 Material granular con alto contenido de finos					
A-2-4 gravoso	Grava Limosa	GM	130 - 145	40-80	300 – 500
A-2-5, gravoso	Grava Areno Limosa				
A-2-4, arenoso	Arena Limosa	SM	120 - 135	20 – 40	300 – 400
A-2-5, arenoso	Arena Gravo Limosa				
A-2-6, gravoso	Grava Arcillosa	GC	120 - 140	20 – 40	200 – 450
A-2-7, gravoso	Grava Areno Arcillosa				
A-2-6, arenoso	Arcilla Arenosa	SC	105 - 130	10 – 20	150 – 350
A-2-7, arenoso	Arcilla Grava Arenosa				
Suelos finos:					
A-4	Limo	ML, OL	90 - 105	4 - 8	25 – 165*
	Mezclas de Limo/Arena/ Grava		100 - 125	5 - 15	40 – 220 *
A – 5	Limo mal graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 – 190*
A - 6	Arcilla plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 – 255*
A-7-5	Arcilla Elástica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 – 125 *
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH, OH	80 - 110	3 – 5	40 – 220*

Fuente: Diseño de pavimento, AASHTO 93, cap. 4 página 86

Tabla N° 70 Ensayo granulométrico, Límites de Atterberg, clasificación AASHTO 93 (Est. 0+000 – 0+800)

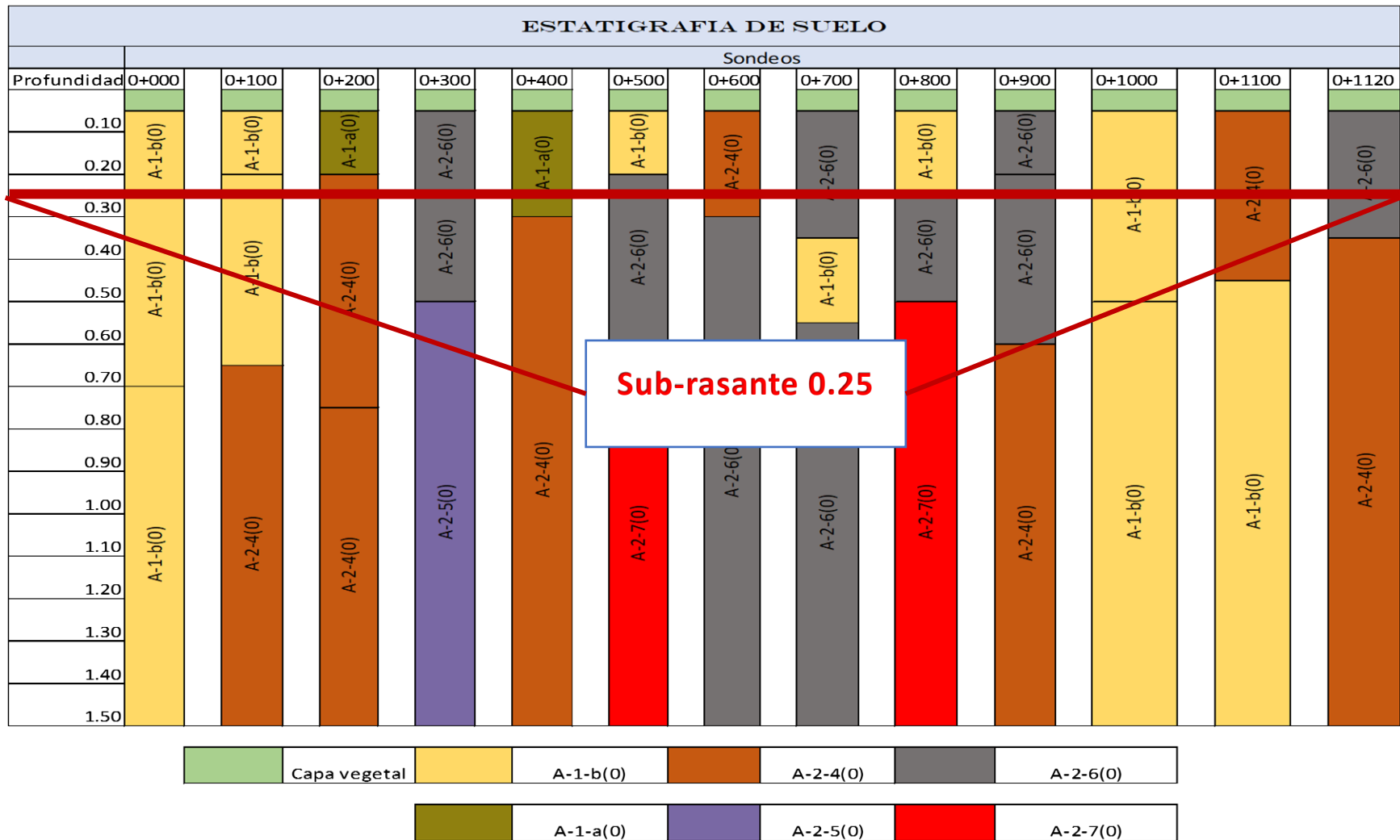
Est.	Muestra N°	Profundidad		Análisis granulométrico (%que pasa)											Límites			Clasificación	CBR
		inicio	Fin	3/4"	1/2"	3/8	1/4	4	10	20	40	60	100	200	IP	LL	LP	AASHTO	
0+000	M1	0.05m	0.25m	97	93	87	82	77	59	46	33	23	14	6	5	28	23	A-1-b (0)	20
	M2	0.25m	0.7m	98	95	91	85	79	58	44	30	20	12	6	2	28	25	A-1-b (0)	20
	M3	0.7m	1.5m	100	98	96	90	82	58	43	30	20	12	6	6	34	28	A-1-b (0)	35
0+100	M1	0.05m	0.2m	100	95	92	87	85	68	54	40	25	15	6	3	27	25	A-1-b (0)	22
	M2	0.2m	0.65m	100	100	97	91	86	57	42	29	21	13	5	2	32	30	A-1-b (0)	22
	M3	0.65m	1.5m	100	98	92	87	82	58	44	31	20	12	4	9	37	29	A-2-4(0)	28
0+200	M1	0.05m	0.2m	100	93	84	77	69	38	22	11	7	4	2	4	35	31	A-1-a (0)	35
	M2	0.2m	0.75m	97	88	87	82	74	46	32	19	13	7	5	9	30	21	A-2-4(0)	37
	M3	1m	1.5m	98	98	96	90	79	52	38	25	16	9	4	9	37	27	A-2-4(0)	40
0+300	M1	0.05m	0.25m	95	81	70	62	54	33	22	12	7	4	2	10	35	24	A-2-6(0)	20
	M2	0.25m	0.5m	98	94	86	76	64	37	24	14	8	4	2	6	40	34	A-2-6(0)	21
	M3	0.5m	1.5m	95	90	84	77	67	41	28	16	10	5	3	8	43	35	A-2-5(0)	20
0+400	M1	0.05m	0.3m	100	92	87	79	71	46	35	25	14	7	3	1	36	36	A-1-a (0)	35
	M2	0.30m	1.5m	100	90	84	80	74	52	37	22	11	6	3	10	35	25	A-2-4(0)	37
0+500	M1	0.05m	0.2m	95	89	87	83	80	66	54	40	28	16	5	2	25	23	A-1-b (0)	20
	M2	0.2m	0.6m	99	95	90	88	85	68	52	33	20	11	4	10	35	25	A-2-6(0)	15
	M3	0.6m	1.5m	96	83	80	76	72	56	42	25	14	7	3	17	42	25	A-2-7(0)	10
0+600	M1	0.05m	0.3m	92	89	85	83	80	63	50	32	20	12	6	8	33	26	A-2-4(0)	21
	M2	0.3m	1.5m	100	100	99	96	94	77	62	42	25	14	6	21	39	18	A-2-6(0)	22
0+700	M1	0.05m	0.35m	100	89	87	86	81	62	46	30	19	11	5	16	39	23	A-2-6(0)	12
	M2	0.35m	0.55m	100	98	96	93	90	69	52	35	24	14	6	4	35	31	A-1-b (0)	22
	M3	0.55m	1.5m	100	100	97	96	94	75	58	40	25	14	6	15	38	23	A-2-6(0)	23
0+800	M1	0.05m	0.25m	95	88	83	80	75	53	39	26	18	12	6	5	27	22	A-1-b (0)	20
	M2	0.25m	0.5m	96	93	88	83	73	45	29	17	10	7	4	12	39	27	A-2-6(0)	22
	M3	0.5m	1.5m	96	93	87	84	78	45	28	14	7	4	3	16	41	25	A-2-7(0)	12

Tabla N° 71 Ensayo granulométrico, Límites de Atterberg, clasificación AASHTO 93 (Est. 0+900 – 1+120)

Est.	Muestra N°	Profundidad		Análisis granulométrico (%que pasa)											Límites			Clasificación	CBR
		inicio	Fin	3/4"	1/2"	3/8	1/4	4	10	20	40	60	100	200	IP	LL	LP	AASHTO	
0+900	M1	0.05m	0.2m	97	93	88	85	80	62	47	33	23	15	7	11	34	23	A-2-6(0)	14
	M2	0.2m	0.6m	99	87	79	77	72	56	44	30	19	11	5	15	40	25	A-2-6(0)	20
	M3	0.6m	1.5m	93	87	78	77	74	57	44	29	18	10	5	10	34	24	A-2-4(0)	21
1+000	M1	0.05m	0.5m	100	97	91	87	84	65	49	31	17	8	3	2	30	28	A-1-b (0)	22
	M2	0.5m	1.5m	100	92	83	70	66	52	40	26	16	8	3	3	31	28	A-1-b (0)	23
1+100	M1	0.05m	0.45m	88	81	74	69	66	55	45	33	22	13	4	7	32	25	A-2-4(0)	20
	M2	0.45m	1.5m	91	89	89	87	86	78	66	42	23	10	4	3	31	29	A-1-b (0)	23
1+120	M1	0.05m	0.35m	94	87	80	76	71	48	33	20	12	7	3	17	37	20	A-2-6(0)	10
	M2	0.35m	1.5m	88	83	80	76	72	57	43	29	18	10	4	8	36	27	A-2-4(0)	20

Fuente: Elaboración por sustentantes

Ilustración N° 32 Perfil estratigráfico del suelo



Fuente: Elaboración por sustentante

Ilustración N° 33 Muestras de suelo



Fuente: Elaboración por sustentantes

Ilustración N° 34 Ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración por sustentantes

ANEXO D ESTUDIO DE TRÁNSITO

Tabla N° 72 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Lunes 10 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Lunes 10 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	6	8	0	6	2	0	0	1	1	24
7:00am-8:00am	5	7	0	6	2	0	0	1	1	22
8:00am-9:00am	7	10	0	7	2	0	0	1	1	29
9:00am-10:00am	7	10	0	7	2	1	0	1	1	29
10:00am-11:00am	7	10	0	7	2	0	0	1	1	29
11:00am-12:00pm	6	9	0	7	2	0	0	1	1	26
12:00pm-1:00pm	6	9	0	7	2	0	0	1	1	25
1:00pm-2:00pm	7	10	0	7	2	1	0	1	1	27
2:00pm-3:00pm	4	0	0	0	0	0	0	0	0	18
3:00pm-4:00pm	5	8	0	6	2	0	0	1	1	23
4:00pm-5:00pm	9	12	0	10	3	0	0	1	1	37
5:00pm-6:00pm	7	10	0	8	3	0	0	1	1	30
TP(D)	77	103	3	77	25	4	1	10	9	309

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 73 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Martes 11 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Martes 11 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	5	7	0	6	2	0	0	1	1	22
7:00am-8:00am	9	6	0	5	1	0	0	0	0	20
8:00am-9:00am	6	9	0	7	2	0	0	1	1	27
9:00am-10:00am	5	7	0	5	2	0	0	1	1	21
10:00am-11:00am	6	9	0	7	2	0	0	1	1	27
11:00am-12:00pm	6	8	0	6	2	0	0	1	1	24
12:00pm-1:00pm	6	8	0	6	2	0	0	1	1	23
1:00pm-2:00pm	9	6	0	5	1	0	0	0	0	25
2:00pm-3:00pm	9	6	0	5	1	0	0	0	0	21
3:00pm-4:00pm	5	7	0	5	2	0	0	1	1	21
4:00pm-5:00pm	8	12	0	9	3	0	0	1	1	34
5:00pm-6:00pm	7	9	0	7	2	0	0	1	1	28
TP(D)	81	94	3	74	22	1	1	8	7	292

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 74 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Miércoles 12 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Miércoles 12 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	9	12	0	10	3	0	0	1	1	37
7:00am-8:00am	9	12	0	10	2	0	0	0	1	34
8:00am-9:00am	11	15	1	12	4	0	0	2	1	45
9:00am-10:00am	8	12	0	9	3	0	0	1	1	36
10:00am-11:00am	11	15	1	12	4	0	0	2	1	45
11:00am-12:00pm	10	14	1	10	3	0	0	1	1	40
12:00pm-1:00pm	10	14	1	11	4	0	0	1	1	39
1:00pm-2:00pm	9	12	0	10	2	0	0	0	1	42
2:00pm-3:00pm	7	0	0	0	0	0	0	0	0	28
3:00pm-4:00pm	8	12	0	9	3	0	0	1	1	36
4:00pm-5:00pm	14	20	1	15	5	0	0	2	2	58
5:00pm-6:00pm	11	16	1	12	4	0	0	2	1	47
TP(D)	117	154	5	119	37	2	1	13	13	487

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 75 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Jueves 13 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Jueves 13 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	5	7	0	5	2	0	0	1	1	20
7:00am-8:00am	4	6	0	5	2	0	0	1	1	19
8:00am-9:00am	6	8	0	6	2	0	0	1	1	25
9:00am-10:00am	5	7	0	5	2	0	0	1	1	19
10:00am-11:00am	6	8	0	6	2	0	0	1	1	25
11:00am-12:00pm	5	7	0	6	2	0	0	1	1	22
12:00pm-1:00pm	5	8	0	6	2	0	0	1	1	21
1:00pm-2:00pm	5	9	0	5	2	1	0	0	1	23
2:00pm-3:00pm	4	0	0	0	0	0	0	0	0	15
3:00pm-4:00pm	5	7	0	5	2	0	0	1	1	19
4:00pm-5:00pm	8	11	0	8	3	0	0	1	1	32
5:00pm-6:00pm	6	9	0	7	2	0	0	1	1	26
TP(D)	63	86	3	64	21	2	1	8	8	266

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 76 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Viernes 14 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Viernes 14 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	8	8	0	4	2	0	0	0	1	23
7:00am-8:00am	6	6	0	7	1	0	0	1	0	21
8:00am-9:00am	9	11	0	4	1	1	0	0	1	27
9:00am-10:00am	4	6	0	9	2	0	0	1	0	22
10:00am-11:00am	9	9	2	5	2	0	0	0	1	28
11:00am-12:00pm	3	10	0	9	2	0	0	1	0	25
12:00pm-1:00pm	7	9	1	4	2	1	0	0	0	24
1:00pm-2:00pm	2	10	0	8	2	0	0	2	2	26
2:00pm-3:00pm	2	7	0	5	2	0	0	1	0	17
3:00pm-4:00pm	5	6	1	5	2	0	0	1	2	22
4:00pm-5:00pm	8	10	0	9	1	0	0	2	1	31
5:00pm-6:00pm	10	8	0	7	2	0	0	1	1	29
TP(D)	73	100	4	76	21	2	0	10	9	295

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 77 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Sábado 15 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Sábado 15 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	7	9	0	7	1	0	0	0	0	24
7:00am-8:00am	5	7	0	6	2	0	0	1	1	22
8:00am-9:00am	7	10	0	8	2	0	0	1	1	29
9:00am-10:00am	5	8	0	6	2	0	0	1	1	23
10:00am-11:00am	7	10	0	8	2	0	0	1	1	29
11:00am-12:00pm	6	9	0	7	2	0	0	1	1	26
12:00pm-1:00pm	6	9	0	7	2	0	0	1	1	25
1:00pm-2:00pm	7	9	0	7	1	0	0	0	0	27
2:00pm-3:00pm	4	0	0	0	0	0	0	0	0	18
3:00pm-4:00pm	5	8	0	6	2	0	0	1	1	23
4:00pm-5:00pm	9	13	0	10	3	0	0	1	1	38
5:00pm-6:00pm	7	10	0	8	3	0	0	1	1	30
TP(D)	77	101	3	78	23	2	1	8	7	314

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 78 Conteo de Tráfico Vehicular Diurno - TP(D) (Domingo 16 de Junio de 2019)

CONTEOS VOLUMETRICOS DE TRÁFICO DIURNO										
UBICACIÓN: Empalme San Francisco Km 120				FECHA: Domingo 16 de Junio de 2019				PERÍODO: 12 horas		
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS				CONTADOR: Fredman Quintanilla, Jerohan Aguirre						
Hora	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Camionetas	McBus<15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 Ton.	C2 5+ Ton	
6:00am-7:00am	5	4	1	5	0	0	0	0	0	10
7:00am-8:00am	2	3	0	2	1	0	0	0	0	9
8:00am-9:00am	3	4	0	3	1	0	0	0	0	12
9:00am-10:00am	2	3	0	2	1	0	0	0	0	9
10:00am-11:00am	3	4	0	3	1	0	0	0	0	12
11:00am-12:00pm	2	3	0	3	1	0	0	0	0	10
12:00pm-1:00pm	3	4	0	3	1	0	0	0	0	10
1:00pm-2:00pm	5	4	1	5	0	0	0	0	0	11
2:00pm-3:00pm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7
3:00pm-4:00pm	2	3	0	2	1	0	0	0	0	9
4:00pm-5:00pm	5	4	1	5	0	0	0	0	0	15
5:00pm-6:00pm	3	4	0	3	1	0	0	0	0	12
TP(D)	37	40	4	37	7	1	0	3	2	125

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 79 Clasificación funcional de carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipos de superficie de rodamiento

TPDA	>20,000		20,000 - 10,000		10,000- 3000		3000 - 500	
Clasificación	N° carril	superficie	N° carril	superficie	N° carril	superficie	N° carril	superficie
Auto pista Regionales	6-8	Pav	4-6	Pav				
Troncales suburbanas	4	Pav	2-4	Pav	2	Pav		
Troncales rurales	4	Pav	2-4	Pav	2	Pav		
Colectoras suburbanas			2-4	Pav	2	Pav	2	Pav
Colectoras rurales					2	Pav	2	Pav

Fuente: (Secretaria de Integración Económica Centroamericana - SIECA, 2004) pág. 3-9

Tabla N° 80 Extracto de indicadores macroeconómico de Nicaragua según BCN.

Principales indicadores macroeconómicos - Main macroe											
Conceptos - Concepts	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Saldo de deuda pública externa (millones US\$) - External pu	3,415.3	3,541.6	3,856.4	4,068.2	4,263.2	4,480.8	4,723.7	4,796.0	4,804.4	5,042.1	5,546.1
Deuda externa / PIB - External public debt / GDP	46.0	41.7	46.5	46.4	43.6	42.5	43.0	40.4	37.7	38.0	40.1
Servicio de deuda externa /exportaciones ^{7/} - External debt	5.6	3.1	3.3	2.4	2.0	1.8	2.0	2.2	2.7	3.2	3.5
Partidas informativas (millones C\$) - Information items (mi											
PIB (a precios constantes) ^{1/} - Real GDP ^{1/}	124,870	129,161	124,908	130,416	138,654	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,131.6	177,894.9	186,212.4
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	136,950	164,602	168,791	187,053	219,182	247,993.9	271,529.8	308,403.1	347,707.3	380,260.8	416,012.8
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)	7,423.4	8,497.0	8,298.7	8,758.6	9,774.3	10,532.5	10,983.0	11,880.4	12,756.7	13,286.0	13,843.7
Población (miles de habitantes) ^{8/} - Population (thousands) ^{8/}	5,707.9	5,778.8	5,850.5	5,923.1	5,996.6	6,071.0	6,134.3	6,198.2	6,262.7	6,327.9	6,393.8
Base monetaria - Monetary base	9,847.8	10,369.5	12,425.7	14,549.8	18,278.0	19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4	29,138.0	33,113.6
Depósitos totales ^{9/} - Total deposits ^{9/}	45,454.7	48,776.4	56,489.1	70,400.3	82,043.5	86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1	145,144.1	160,719.0
Cartera de crédito bruta ^{10/} - Gross credit portfolio ^{10/}	42,026.3	47,198.6	44,241.7	45,289.1	53,852.4	69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2	146,721.6	167,150.3
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(2,905.7)	(4,875.2)	(6,576.7)	(4,121.9)	(3,457.3)	(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.3)	(9,906.2)	(11,823.3)	(12,742.6)
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	1,311.1	(1,027.8)	(2,195.7)	(1,101.6)	354.2	(626.5)	(3,024.2)	(4,541.5)	(5,593.4)	(7,580.1)	(8,453.7)

Fuente: Banco Central de Nicaragua. Disponible en:

http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/anuario_estadistico/index.php

Tabla N° 81 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips) ⁶	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.












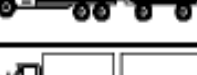
Fuente: AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1,993, tablas D-1 a D-18

Tabla N° 82 Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo

Diagrama de carga de vehículo por tipo de Eje			
Tipo de vehículos	Peso por Eje (Ton/m)	Peso por Eje (Kips)	Tipo de Eje
Autos	1.00	2,200.00	Simple
	1.00	2,200.00	Simple
Jeep	1.00	2,200.00	Simple
	1.00	2,200.00	Simple
Camionetas	1.00	2,200.00	Simple
	2.00	4,400.00	Simple
Mc bus < 15 Pas	2.00	4,400.00	Simple
	4.00	8,800.00	Simple
Liv. 2 - 5 t.	2.00	4,400.00	Simple
	4.00	8,800.00	Simple
C2 5+t.	5.00	11,000.00	Simple
	10.00	22,000.00	Simple

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial MTI

Tabla N° 83 Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo Vehículos Pesados

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial MTI

Ilustración N° 35 Conteo vehicular durante toda la semana



Fuente: Elaboración por sustentantes

ANEXO E DISEÑO DE PAVIMENTO

Ilustración N° 36 Fotografías del terreno actual



Fuente: Elaboración por sustentantes

ANEXO F COSTO Y PRESUPUESTO

➤ Etapa 1: Preliminares

Tabla N° 84 Take off limpieza inicial

Limpieza inicial				
Cantidad de obra:	7392.00	m²		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Limpieza inicial	Día	1.00	C\$25,872.00	C\$ 25,872.00
A - Costo total directo:				C\$ 25,872.00
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 1,552.32
C – Administración			5%	C\$ 1,371.22
D – Utilidades			10%	C\$ 2,879.55
Costo total de actividad:				C\$ 31,675.09
Costo unitario:				C\$ 4.29

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 85 Take off rótulo

Rótulo				
Cantidad de obra:	1	unidad		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Rotulo metálico de 1.22 x 2.44 m	Unidad	1.00	C\$ 5,075.00	C\$ 5,075.00
Goloso p/techo p/broca 2" x 14	Unidad	30.00	C\$ 1.00	C\$ 30.00
Tubo negro redondo 1- 1/2 ch-14	Unidad	2.00	C\$ 600.00	C\$ 1,200.00
Soldadura 6011 x 1/8"	lb	11.00	C\$ 50.00	C\$ 550.00
Disco abrasivo 9" x 5/64" x 7/8" DeWalt	Unidad	2.00	C\$ 75.00	C\$ 150.00
Cemento	Bolsa	1.00	C\$ 305.00	C\$ 305.00
Arena	m³	0.05	C\$ 550.00	C\$ 25.74
Grava	m³	0.06	C\$ 650.00	C\$ 40.37
Albañil	h	1.00	C\$ 42.59	C\$ 42.59
Ayudante	h	0.56	C\$ 35.19	C\$ 19.71
A - Costo total directo:				C\$ 7,438.40
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 446.30
C – Administración			5%	C\$ 394.24
D – Utilidades			10%	C\$ 827.89
Costo total de actividad:				C\$ 9,106.83
Costo unitario:				C\$ 9,106.83

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 86 Take off trazo y nivelación

Trazo y nivelación				
Cantidad de obra:	8736	MI		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Cuartones de pino (2 1/2" x 2 1/2 " x 6vrs)	unidad	75.00	C\$ 100.00	C\$ 7,500.00
Levantamiento topógrafo	ml	8736.00	C\$ 8.00	C\$ 69,888.00
Replanteo	ml	8736.00	C\$ 10.00	C\$ 87,360.00
A - Costo total directo:				C\$ 164,748.00
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 9,884.88
C – Administración			5%	C\$ 8,731.64
D – Utilidades			10%	C\$ 18,336.45
Costo total de actividad:				C\$ 201,700.98
Costo unitario:				C\$ 23.09

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 87 Take off movilización y desmovilización de equipo

Movilización y desmovilización de equipos				
Cantidad de obra:	2.00	Gbl		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Movilización de Bulldozer D6	h	1.00	C\$ 1,344.00	C\$ 1,344.00
Movilización de vibro compactadora de rodillo	h	1.00	C\$ 1,344.00	C\$ 1,344.00
A - Costo total directo:				C\$ 2,688.00
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 161.28
C – Administración			5%	C\$ 142.46
D – Utilidades			10%	C\$ 299.17
Costo total de actividad:				C\$ 3,290.92
Costo unitario:				C\$ 1,645.46

Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ **Etapas 2 Movimiento de tierra**

Tabla N° 88 Take off movimiento de tierra

Movimiento de tierra				
Cantidad de obra:	1895.79	m ³		
Equipos y mano de obra empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Bulldozer D6	h	31.60	C\$ 1,344.00	C\$ 42,465.70
A - Costo total directo:				C\$ 42,465.70
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 2,547.94
C – Administración			5%	C\$ 2,250.68
D – Utilidades			10%	C\$ 4,726.43
Costo total de actividad:				C\$ 51,990.75
Costo unitario:				C\$ 27.42

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 89 Take off botar tierra de excavación

Botar tierra sobrante de excavación				
Cantidad de obra:	2402.40	m ³		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Camión de Volteo de 8m ³	h	109.20	C\$ 840.00	C\$ 91,728.00
Cargadora frontal	h	8.01	C\$ 1,344.00	C\$ 10,762.75
A - Costo total directo:				C\$ 102,490.75
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 6,149.45
C – Administración			5%	C\$ 5,432.01
D – Utilidades			10%	C\$ 11,407.22
Costo total de actividad:				C\$ 125,479.43
Costo unitario:				C\$ 52.23

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 90 Take off acarreo de materiales

Acarreo de materiales				
Cantidad de obra:	739.20	m³		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Camiones de volteo (8m³)	h	33.60	C\$ 840.00	C\$ 28,224.00
Material selecto para base	m³	739.20	C\$ 25.00	C\$ 18,480.00
Transportar arena Motastepe	h	10.00	C\$ 1,344.00	C\$ 13,440.00
Arena Motastepe	m³	39.45	C\$ 600.00	C\$ 23,671.56
Transportar arena de río Coco	h	10.00	C\$ 1,344.00	C\$ 13,440.00
Arena rio coco	m³	581.97	C\$ 550.00	C\$ 320,081.02
Transportar grava	h	10.00	C\$ 1,344.00	C\$ 13,440.00
Grava	m³	48.79	C\$ 650.00	C\$ 31,715.68
Cargador frontal (3m³)	h	2.46	C\$ 1,344.00	C\$ 3,311.62
A - Costo total directo:				C\$ 465,803.87
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 27,948.23
C – Administración			5%	C\$ 24,687.61
D – Utilidades			10%	C\$ 51,843.97
Costo total de actividad:				C\$ 570,283.68
Costo unitario:				C\$ 771.49

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 91 Take off conformación con selecto y compactación

Conformación con suelo selecto y compactación				
Cantidad de obra:	7392.00	m²		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Motoniveladora 140H	h	24.64	C\$ 1,344.00	C\$ 33,116.16
Vibro compactadora de rodillo	h	24.64	C\$ 840.00	C\$ 20,697.60
A - Costo total directo:				C\$ 53,813.76
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 3,228.83
C - Administración			5%	C\$ 2,852.13
D - Utilidades			10%	C\$ 5,989.47
Costo total de actividad:				C\$ 65,884.19
Costo unitario:				C\$ 8.91

Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ **Etapla 3 Carpeta de rodamiento**

Tabla N° 92 Take off carpeta de rodamiento

Carpeta de rodamiento				
Cantidad de obra:	7392.00	m ²		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Estrato amortiguador de arena	m ³	480.48	C\$ 550.00	C\$ 264,264.00
Adoquines	Unidad	136752.00	C\$ 17.00	C\$ 2,324,784.00
Cuchillas	Unidad	22176.00	C\$ 10.00	C\$ 221,760.00
Cargar adoquines	h	147.84	C\$ 35.19	C\$ 5,202.49
Transportar adoquines	h	98.56	C\$ 1,344.00	C\$ 132,464.64
Descargar adoquines	Unidad	147.84	C\$ 35.19	C\$ 5,202.49
Colocar adoquines	m ²	7392.00	C\$ 16.00	C\$ 118,272.00
Encalichado de adoquines	m ³	42.67	C\$ 540.00	C\$ 23,039.98
A - Costo total directo:				C\$ 3,094,989.60
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 185,699.38
C - Administración			5%	C\$ 164,034.45
D - Utilidades			10%	C\$ 344,472.34
Costo total de actividad:				C\$ 3,789,195.76
Costo unitario:				C\$ 512.61

Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ **Etapla 4 Cunetas, andenes y bordillo**

Tabla N° 93 Take off cunetas, andenes y bordillos

Cunetas andenes y bordillos				
Cantidad de obra:	2240.00	ml		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Cemento	Bolsa	941.00	C\$ 305.00	C\$ 287,005.00
Material selecto	m³	196.85	C\$ 25.00	C\$ 4,921.21
Transportar material selecto	H	3.33	C\$ 1,344.00	C\$ 4,480.00
Transportar bolsas de cemento	H	3.33	C\$ 1,344.00	C\$ 4,480.00
Conformación de cunetas de suelo cemento	H	1.12	C\$ 1,344.00	C\$ 1,505.28
Hacer encofrado para cunetas	h	224.00	C\$ 42.59	C\$ 9,540.16
Crear y fundir mezcla de suelo cemento	unidad	168.00	C\$ 35.19	C\$ 5,911.92
Mezcladora para 2 sacos	Día	28.00	C\$ 1,344.00	C\$ 37,632.00
Regla 1" x 2" x 6 vrs	Unidad	500.00	C\$ 75.00	C\$ 37,500.00
Clavo corriente 2 1/2"	lb	20.00	C\$ 22.50	C\$ 450.00
A - Costo total directo:				C\$ 393,425.57
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 23,605.53
C - Administración			5%	C\$ 20,851.56
D - Utilidades			10%	C\$ 43,788.27
Costo total de actividad:				C\$ 481,670.93
Costo unitario:				C\$ 215.03

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 94 Take off viga de remates

Vigas de remate				
Cantidad de obra:	33.00	ml		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Cemento	Bolsa	8.00	C\$ 305.00	C\$ 2,440.00
Grava	m³	0.47	C\$ 650.00	C\$ 308.34
Arena	m³	0.80	C\$ 600.00	C\$ 482.63
Mezcladora de concreto de 2 bolsas	día	1.00	C\$ 502.50	C\$ 502.50
Tabla 12 x 1 x 6 vrs	Unidad	2.00	C\$ 500.00	C\$ 1,000.00
Clavo corriente 2 1/2"	lb	10.00	C\$ 22.50	C\$ 225.00
Oficial	h	3.30	C\$ 42.59	C\$ 140.55
Ayudantes de albañil	h	1.24	C\$ 35.19	C\$ 43.55
A - Costo total directo:				C\$ 5,142.56
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 308.55
C - Administración			5%	C\$ 272.56
D - Utilidades			10%	C\$ 572.37
Costo total de actividad:				C\$ 6,296.04
Costo unitario:				C\$ 190.79

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 95 Take off bordillo de concreto

Bordillos de concreto				
Cantidad de obra:	2240.00	ml		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Cemento	Bolsa	486.00	C\$ 305.00	C\$ 148,230.00
Arena	m³	36.40	C\$ 600.00	C\$ 21,840.00
Grava	m³	48.30	C\$ 650.00	C\$ 31,395.00
Tabla 12 x 1 x 6 vrs	Unidad	48.00	C\$ 500.00	C\$ 24,000.00
Clavo corriente 2 1/2"	lb	20.00	C\$ 22.50	C\$ 450.00
Transporte local de cemento	Viaje	1.00	C\$ 1,344.00	C\$ 1,344.00
Mezcladora de concreto de 2 bolsas	Día	10.50	C\$ 1,344.00	C\$ 14,112.00
Oficial de obra	h	224.00	C\$ 42.59	C\$ 9,540.16
Ayudantes de albañil	h	84.00	C\$ 35.19	C\$ 2,955.96
A - Costo total directo:				C\$ 253,867.12
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 15,232.03
C - Administración			5%	C\$ 13,454.96
D - Utilidades			10%	C\$ 28,255.41
Costo total de actividad:				C\$ 310,809.52
Costo unitario:				C\$ 138.75

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla N° 96 Take off vados de concretos

Vados de concreto				
Cantidad de obra:	33.00	ml		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Cemento	Bolsa	20.00	C\$ 305.00	C\$ 6,100.00
Arena	m³	1.43	C\$ 600.00	C\$ 858.00
Grava	m³	1.90	C\$ 650.00	C\$ 1,233.38
Regla 1" x 2" x 6 vrs	Unidad	14.00	C\$ 75.00	C\$ 1,050.00
Clavo corriente 2 1/2"	lb	10.00	C\$ 22.50	C\$ 225.00
Transporte local de cemento y pétreos	Viaje	1.00	C\$ 500.00	C\$ 500.00
Mezcladora de concreto de 2 bolsas	Día	1.00	C\$ 1,344.00	C\$ 1,344.00
Oficial de obra	h	3.30	C\$ 42.59	C\$ 140.55
Ayudantes de albañil	h	3.30	C\$ 35.19	C\$ 116.13
A - Costo total directo:				C\$ 11,567.05
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 694.02
C - Administración			5%	C\$ 613.05
D - Utilidades			10%	C\$ 1,287.41
Costo total de actividad:				C\$ 14,161.54
Costo unitario:				C\$ 429.14

Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ Etapa 5 Señalización horizontal y vertical

Tabla N° 97 Take off señalización horizontal y vertical

Señalización horizontal y vertical				
Cantidad de obra:	10.00	unidad		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Rótulos de señales preventivas	Unidad	10.00	C\$ 2,075.00	C\$ 20,750.00
Marco para rótulo de señales preventivas	Unidad	10.00	C\$ 550.00	C\$ 5,500.00
Cemento	Bolsa	4.00	C\$ 305.00	C\$ 1,220.00
Arena	m³	0.28	C\$ 600.00	C\$ 168.48
Grava	m³	0.37	C\$ 650.00	C\$ 242.19
Transporte local de cemento y pétreos	viaje	1.00	C\$ 500.00	C\$ 500.00
Mezcladora de concreto (2 bolsas)	día	1.00	C\$ 1,344.00	C\$ 1,344.00
Instalar rótulo	h	0.50	C\$ 42.59	C\$ 21.30
Excavar hoyos para fundar señalizaciones	h	0.54	C\$ 35.19	C\$ 19.00
Crear y fundir concreto para señalizaciones	h	4.80	C\$ 35.19	C\$ 168.91
A - Costo total directo:				C\$ 29,933.88
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 1,796.03
C – Administración			5%	C\$ 1,586.50
D – Utilidades			10%	C\$ 3,331.64
Costo total de actividad:				C\$ 36,648.05
Costo unitario:				C\$ 3,664.80

Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ Etapa 6 Limpieza final y entrega

Tabla N° 98 Take off limpieza final y entrega

Limpieza final y entrega				
Limpieza final				
Cantidad de obra:	1.00	Gbl		
Mano de obra y equipos empleados				
Descripción	U/M	Cantidad	Costo	Total
Mini cargadora frontal	día	1.00	C\$ 2,688.00	C\$ 2,688.00
Camión plataforma	día	1.00	C\$ 6,720.00	C\$ 6,720.00
A - Costo total directo:				C\$ 9,408.00
B - Costos indirectos:			6%	C\$ 564.48
C – Administración			5%	C\$ 498.62
D – Utilidades			10%	C\$ 1,047.11
Costo total de actividad:				C\$ 11,518.21
Costo unitario:				C\$ 11,518.21

Fuente: Elaboración por sustentantes

JUEGOS DE PLANOS